



**Dækrodsplantesystemets betydning for rodudvikling i eg og bøg  
- konsekvenser for træernes stabilitet**

Jørgensen, Finn Vanmann; Andersen, Lilie; Jensen, Jan Svejgaard

*Publication date:*  
2007

*Document version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*  
Jørgensen, F. V., Andersen, L., & Jensen, J. S. (2007). *Dækrodsplantesystemets betydning for rodudvikling i eg og bøg: - konsekvenser for træernes stabilitet*. Skov & Landskab, Københavns Universitet.



# Dækrodsplantensystemets betydning for rodudvikling i eg og bøg

ARBEJDSRAPPORT SKOV & LANDSKAB

37 / 2007



Af Finn Vanman Jørgensen, Lilie Andersen og  
Jan Svejgaard Jensen



**Rapportens titel**

Dækrodsplantesystemets betydning for rodudvikling i eg og bøg - konsekvenser for træernes stabilitet

**Forfatter**

Finn Vanman Jørgensen, Lilie Andersen og  
Jan Svejgaard Jensen

**Udgiver**

Skov & Landskab  
Hørsholm Kongevej 11  
2970 Hørsholm  
Tlf. 3533 1500  
[www.sl.life.ku.dk](http://www.sl.life.ku.dk)

**Serietitel**

Arbejdsrapport *Skov & Landskab* nr. 37, 2007  
Publiceret på [www.Ssl.life.ku.dk](http://www.Ssl.life.ku.dk)

**ISBN**

ISBN 978-87-7903-324-5

**Dtp**

Melita Jørgensen

**Bedes citeret**

Finn Vanman Jørgensen, Lilie Andersen og Jan Svejgaard Jensen:  
2007: Dækrodsplantesystemets betydning for rodudvikling i eg og  
bøg - konsekvenser for træernes stabilitet nr. 37, Skov & Landskab,  
Hørsholm, 2007. 48 s. ill.

**Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse**

I salgs- eller reklameøjemed er eftertryk og citering af rapporten samt  
anvendelse af *Skov & Landskabs* navn kun tilladt efter skriftlig tilla-  
delse.

## Forord

Denne rapport er resultatet af forskningsprojektet »Dækrodsplantesystemets betydning for rodudvikling i eg og bøg – konsekvenser for træernes stabilitet«. Projektet er gennemført som et samarbejde mellem Afd. for Vedplanters Genressourcer, Skov & Landskab og Afd. for Havebrugsproduktion, Danmarks Jordbrugsforskning i perioden januar 2005 til august 2006. Skov- og Naturstyrelsen har støttet projektet finansielt gennem Produktudviklingsordningen.

Projektet udgør en naturlig opfølgning på forskningsprojektet »Udvikling af metoder til produktion af dækrodsplanter i skoven – produkter med hurtig og sikker etablering« (DÆKROD I), ligeledes finansieret gennem Produktudviklingsordningen. I løbet af arbejdet med dette første projekt blev det klart, at der manglede viden om dækrodsplanternes rodudvikling efter udplantning. Den udpegede følgegruppe til dette projekt opfordrede derfor til at iværksætte ny forskning på dette område, og det nærværende projekt blev en realitet. For dels at spare tid og dels at udnytte ressourcerne optimalt har vi lavet rodundersøgelser i de samme kulturer, som blev etableret i det første dækrodsprojekt, ligesom vi har inddraget undersøgelser af rodudviklingen på dækrodsplanter udplantet i et projekt under Kulturkommission 2000 - »Udvikling og indførelse af dækrodsplantesystemet i dansk skovbrug«

Projektet er udført som et samarbejde mellem Skov & Landskab, det Biovidenskabelig Fakultet, Københavns Universitet, Forskningscenter Årslev og Danmarks Jordbrugsforskning, og blev finansieret af Skov & Naturstyrelsen gennem Produktudviklingsordningen for skovbrug og træindustri

### Tak til

Først en tak til forsøgsværterne, som har givet os lov til at grave planter op i deres kulturer. Det drejer sig om Skovfoged Leif Lauridsen, Ravnholt Gods; Driftschef Tine Eggertsen, Gellerup Plantage; Skovfoged Mads Olesen, Gunderslevholm; Statsskovrider Carsten Ørnsholt, Haderslev Statsskovdistrikt, Harte; Distriktsleder Kim Bech Nielsen, Wedellsborg gods; Skovfoged Poul Norup, Skjoldenæsholm skovdistrikt; Skovfoged Hans Nedergaard-Hansen, Feldborg Skovdistrikt, Havredal Plantage. Vi vil endvidere takke følgende personer for en solid indsats med det praktiske arbejde. Henrik Skibsted Jacobsen, Martin Wiberg, Poul Skræm og Erling Hyldig og Mads Konge for målinger og opgravning i felten. Annette Fredensborg, Lotte Holm Hansen og Erling Hyldig og Mads Konge for omhyggelige målinger på rødderne samt Annalise Metz for indtastning i ROOTARCH databasen. Tak også til Christian Nørgaard Nielsen for introduktion til rodmåling vha. ROOTARCH metoden. Endvidere en tak til Palle Madsen og Niclas Scott Bentsen for hjælp med udpegning af egnede lokaliteter til opgravning af selvforyngede og såede planter. Til slut en tak til følgegruppen, som har givet konstruktiv kritik til både forsøgsplaner og resultater. Følgegruppen bestod, udover forfatterne, af Leo Møller og Bent Karlsson, HedeDanmark, Henrik S. Jakobsen og Niclas Scott Bentsen, KVL



# Indhold

Forord	1
Indhold	3
<b>1 Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2 Formål</b>	<b>7</b>
<b>3 Materialer og metoder</b>	<b>7</b>
3.1 Forsøgsarealer	7
3.2 Pottetyper	8
3.3 Feltmålinger	8
3.4 Opgravning	8
3.5 Målinger	10
3.6 Statistik	12
<b>4 Resultater</b>	<b>14</b>
4.1 Bøg	14
4.1.1 Højde, stammediameter, roddebybde og rod/top forhold	14
4.1.2 Rodantal	16
4.1.3 Rodtværsnitsareal	18
4.1.4 Rodsymmetri	18
4.1.5 Roddeformationer	22
4.1.6 Basalsvaj	25
4.2 Eg	26
4.2.1 Højde, stammediameter, roddebybde og rod/top forhold	26
4.2.2 Rodantal	28
4.2.3 Rodtværsnitsareal	30
4.2.4 Rodsymmetri	30
4.2.5 Roddeformationer	33
4.2.6 Basalsvaj	34
4.3 Ukrudts betydning for rodudviklingen	36
4.4 Pottestørrelsens effekt på rodudvikling.	36
<b>5 Vurdering af resultaterne</b>	<b>40</b>
<b>6 Konklusion</b>	<b>44</b>
<b>7 Referencer</b>	<b>47</b>



# 1 Indledning

I Danmark startes langt de fleste nye skovkulturer ved udplantning af barrodsplanter. Det gælder ved etablering af såvel nåle- som løvtræsbevoksninger. I de seneste år har der været et øget fokus på at reducere kulturomkostningerne, og derfor en øget interesse i at finde billigere alternativer til barrodsplanterne. Anvendelse af dækrodsplanter har her vist sig som en attraktiv metode. Dækrodsplanterne kan produceres hurtigere (Andersen, 2006) og muligvis billigere, og under optimale betingelser er præstationen i plantningen højere (Jensen og Jakobsen, 2006). Samtidig er plantningen langt mere ergonomisk korrekt for plantøren, når der anvendes dækrodsplanter og planterør. På trods af disse fordele, er brugen af dækrodsplanter i skovbrugserhvervet stadig begrænset. Årsagen er måske at de første danske forsøg i 70'erne med dækrodssystemer ikke viste nogen afgørende fordele ved dækrodsplanter (Neckelmann, 1979).

Siden da er dækrodssystemerne udviklet betydeligt, og der er fornyet interesse for at bruge dette alternativ til barrodsplanter. For at belyse dækrodsplanternes anvendelighed under danske forhold, er der etableret en række nye forsøg, som undersøger dækrodsplanternes overlevelse og vækst i kulturfasen. De første resultater herfra viser, at dækrodsplanter generelt klarer sig bedre, eller lige så godt som barrodsplanter i de første år efter udplantning (Jensen og Jakobsen, 2006). Dækrodsplanternes anvendelighed kan dog ikke udelukkende vurderes ud fra etableringsevnen i den tidligste kulturfase. For den samlede økonomi over en omdrift er træernes form og stabilitet af stor betydning, og disse to parametre bestemmes i høj grad af rodsystemets udformning og udvikling. Det er derfor af stor betydning, at vi kender de forskellige plantetyper og plantemetoders indflydelse på rodudviklingen, både på kort og langt sigt. Dette projekt har netop som formål, at undersøge hvordan rodudviklingen er i eg og bøg, når der anvendes forskellige plantetyper. Indledningsvis gives et kort resumé af hvilken viden vi har i dag på dette område:

Erfaringer fra Sverige har vist, at containersystemernes udformning har stor indflydelse på nåletræers vedkvalitet efterfølgende (Lindström & Rune, 1999; Rosswall, 1998; Warensjö & Rune, 2004). Således var der en udpræget grad af rodsnøring når skovfyr etableredes som dækrodsplanter i Paperpot med faste glatte sider. Træer med rodsnøring havde samtidig en øget forekomst af basalsvaj (Lindström & Rune, 1999). I Irland blev væksten i Douglasgran i Paperpotsystemet sammenlignet med væksten i barrodsplanter, og her blev der observeret en større andel af basalsvaj hos barrodsplanterne (Sundström & Keane, 1999). Tilsvarende er iagttaget hos barrodsplanter og plug+1-planter af rødgran (*Picea abies*) (Håkansson & Lindström, 2003). I det svenske forsøg med Paperpot udviste rodsystemerne hos planterne, der var opformeret i Paperpotcontainerne, en høj grad af rodsnøring, som fortog sig efterhånden og ikke sås så markant hos ældre træer (19-24 år). Problemstillingen er imidlertid, at der i den nederste del af stammen med basalsvaj udvikles kompressionsved, som er ødelæggende for kvaliteten af træet (Lindström, 1998; Rune, 2003). Selv om stammerne med tiden bliver næsten rette og rodsnøringerne ikke længere kan ses, forsvinder



kompressionsveddet ikke, (Lindström & Rune, 1999). Roddeformationer kan derfor påvirke vedkvaliteten på lang sigt (Lindström, 1998).

Nye containersystemer med styreribber på langs i containeren er udviklet, og containerne er udformet med åbne slidser i siderne for at øge antallet af siderødder, der vokser horisontalt. Sideslidser medfører signifikant mindre rodsnøring i forhold til ingen slidser ifølge svenske undersøgelser i skovfyr (Rune, 2003). Endelig er anvendelsen af åbne containere, som består af spagnum med net eller papir rundt om, introduceret til brug i produktionen af dækrodsplanter.

Idéen er her, at røddernes længdevækst standses ved luftbeskæring, når rodspidserne er vokset ud til mediets overflade, og problemet med rodsnøring undgås.

Foruden containertypen påvirkes rodsnøring også af, hvor længe planterne står i containerne i forhold til containerens størrelse. Lindström (1998) angiver, at i perioden fra 2 til 3 måneder efter fremspiringen øges rodmængden i containeren 5-7 gange, hvilket antyder, at en kort produktionstid har stor betydning. På den anden side viser forsøg at overlevelsen af nåletræer i skoven øges med stigende alder af dækrodsplanter (bl.a. Nyström, 1999). De nye erfaringer med dækrodsplanter af eg og bøg viste, at planterne maksimalt må stå én vækstsæson, når man skal undgå rodsnøringer selv i relativt store containere (150-265 cm<sup>3</sup>) (Andersen, 2006). Tilsvarende sikrer luftbeskæringer af rødderne, hvor de gror ud af containeren, at der ikke sker rodsnøringer. Containere stående på faste underlag eller i bakker med fast bund vil medføre en risiko for rodsnøringer som vist i flere forsøg (Ciccarese et al, 2005).

For træernes stabilitet er det afgørende at rodsystemet har en symmetrisk fordeling af rødder rundt om rodens hovedakse. Selv under optimale betingelser vil der ofte være en skæv fordeling af rødderne, og fysiske forhold som plovfurer og hældning samt indgreb som tynding og gødskning og endelig miljøfaktorer som vindpåvirkning kan påvirke den skæve fordeling yderligere (Coutts et al. 2000). Træerne vil normalt forsøge at genoprette en optimal fordeling af rødder, men det er usikkert hvor hurtigt denne tilpasning sker. I denne sammenhæng er det af stor betydning hvor god rodsymmetrien er ved kulturstarten. Det ser ud til at arter som bøg og eg har en relativ god evne til at kompensere for dårlig rodsymmetri (Nielsen og Hansen, 2000), men det er uvist om en skæv fordeling i træernes unge år får konsekvenser for kvaliteten af veddet. Samtidig er der ingen viden om hvordan forskellige dækrodstyper påvirker rodudviklingen i bøg og eg.

## 2 Formål

Det var projektets overordnede mål, at undersøge om rodudviklingen er hensigtsmæssig ved anvendelse af dækrodsplanter. Herunder:

- at undersøge rodudviklingen i nye kulturer af eg og bøg ved anvendelsen af forskellige dækrodstyper samt barrodsplanter.
- at klarlægge om containernes størrelse og udformning (åbne eller lukkede systemer) har en betydning for rodudviklingen.
- at sammenligne rodudviklingen ved naturlig foryngelse med rodudviklingen i dækrodsplanter i skov- og markkultur.
- at belyse ukrudtstrykkets betydning for rodudviklingen i eg og bøg i markkultur ved undersøgelser af rodsystemet i planter af eg og bøg plantet med og uden konkurrence fra græs.

## 3 Materialer og metoder

### 3.1 Forsøgsarealer

Rodudviklingen er undersøgt på ege- og bøgeplanter fra en række nye kulturer (tabel 1). Hovedparten er planter etableret i forbindelse med forskningsprojektet DÆKROD I (forsøg 1-4 og 10-12). Disse planter har alle haft 3 vækstsæsoner i kulturen før opgravning. Derudover er der undersøgt planter af sammenlignelig alder fra nye kulturer, der er etableret ved såning (forsøg 6 og 7) eller selvfor yngelse (forsøg 5b og 5e). Til undersøgelse af effekten af pottestørrelse er der indsamlet planter fra 2 lokaliteter fra forskningsprojektet KULTURKOMMISSION (forsøg nr. 8 og 9). Planterne her var noget mindre med kun 2 vækstsæsoner i kulturen. Lokaliteterne fremgår af tabel 1, hvor der ligeledes er givet en kort oversigt over jordbearbejdning, provenienser m.m. For yderligere detaljer henvises bl.a. til Jensen & Jakobsen (2006). Plantningen i skoven var i forsøg 1n og 1s foretaget som skrippeplantning af erfarne skovarbejdere. I forsøg 4n, 4s, 8 og 9 blev dækrodsplanter plantet med rør. Plantningen på bar mark i Årslev var udført i en ca. 10 cm bred og 40 cm dyb rille, som var lagt op med maskine. Planterne blev plantet med håndkraft i rillen, og jord fyldt rundt omkring planterne med håndkraft. Efterfølgende blev jorden trykket til omkring planterne med maskine.

I markforsøget blev der analyseret planter udplantet i Årslev på bar mark hvor jorden var renholdt eller bevokset med græs. Græsset var etableret som en 60 cm bred bræmme mellem planterækkerne, som var holdt fri for græs i 30 cm's bredde. Systemet er beskrevet tidligere (Andersen, 2001). Fra parceller med konkurrence fra græs er der kun opgravet eg i Hiko 150 og Jiffy 200, da bøg i denne del af forsøget havde så ringe vækst, at der ikke var rødder tilbage på planterne ved optagningen.

## 3.2 Pottetyper

I dette projekt er der sammenlignet en række forskellige pottetyper (tabel 2). Der er dels anvendt containere med lukkede sider og styreribber repræsenteret ved Hiko 265 og Quick 200, containere med åbne slidser i siden som Hiko 150 og endelig potter, hvor mediet er holdt sammen med et net. Her repræsenteret ved Jiffy 40, 80 og 200. Dækrodsplanterne blev sammenlignet med tre barrodstyper, dels en 2-årig 2/0 og dels en 1-årig 1/0, og endelig en plug+1, som er en lille plante startet i en jordpote bestående af mørk spagnum, der efter en kort vækstperiode i væksthus udplantes på friland og graves op som almindelige barrodsplanter i efteråret. Den toårige barrodsplante repræsenterer den type der normalt anvendes ved plantning, mens den etårige er taget med for at have en barrodsplante der er ensalderende med dækrodsplanterne. Der var kun toårige barrodsplanter i forsøgene med bøg. Endelig blev der udtaget planteprøver af såede og selvforyngede planter af eg og bøg.

## 3.3 Feltmålinger

Fra de etablerede kulturforsøg er planterne udvalgt helt tilfældigt efter en forudgående randomiseret udvælgelse fra hele plantematerialet. Planterne fra de såede og foryngede kulturer er udvalgt semi-tilfældigt ved afgrænsning af brugbare prøvefelter med efterfølgende tilfældig udvælgelse. Planterne blev afmærket med sløjfeetiket med et unikt nummer som fulgte planten gennem hele analyseprocessen.

Inden opgravning blev planternes højde og stammediameter i 10 cm's højde målt. Samtidig blev der på en del af planterne målt størrelse og kompasretning af basalsvaj. Dette blev foretaget ved at måle den vinkel som stammen afveg fra lodret i 10 cm's højde. Se Figur 1. Retningen på hældningen blev samtidig målt med kompas. Efter disse målinger blev retningen mod nord og højden 10 cm over jordoverfladen afmærket med tusch eller et snit på stammen. Se Figur 2. For senere at kunne orientere planten korrekt i forhold til lodret blev der med tusch eller snit afsat lodrette mærker på siderne af stammen i nordlig og østlig retning.

## 3.4 Opgravning

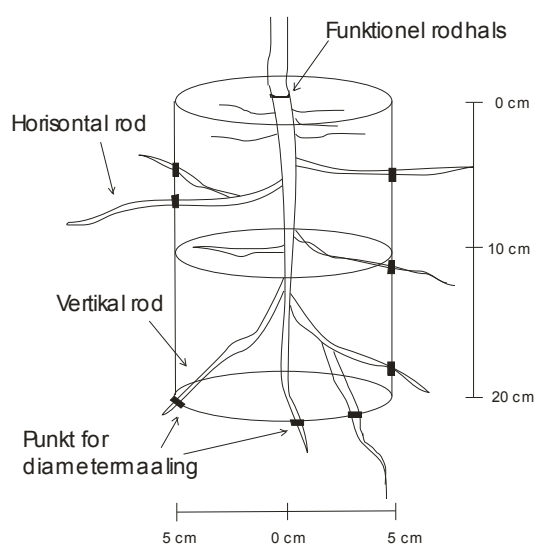
Der er brugt forskellige metoder til opgravning på de forskellige lokaliteter. På Ravnholt, Gellerup, Harte og Wedellsborg blev nedenstående metode anvendt: Før opgravning blev jorden løsnet i 20 cm's afstand rundt om planten med en spade. Dette bevirkede at horisontale rødder uden for de 20 cm blev skåret over, men risikoen for at disse rødder knækkede af helt inde ved hovedroden blev mindsket betydeligt. Selve opgravningen blev foretaget med en minigraver forsynet med en 30 cm bred skovl til ca. 40 cm's dybde. På Årslev blev planterne gravet op med en sideløfter monteret på en traktor. Der blev gravet til en dybde af ca. 40 cm og i en diameter på 30-40 cm omkring planten.



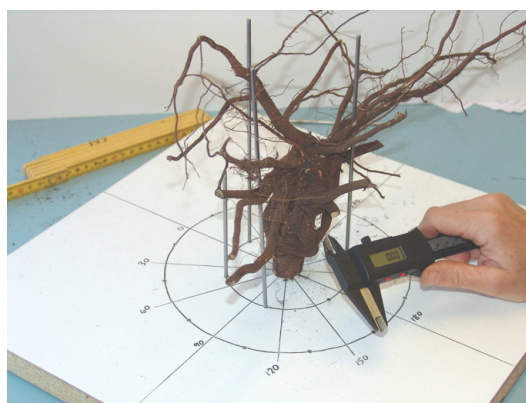
Figur 1. Måling af basalsvaj i de nederste 10 cm af stammen.



Figur 2 Afmærkning af Nord og 10 cm over jordoverfladen på stammen inden opgravning .



Figur 3. Skematisk illustration af målingen af roddiameter og rodegenskaber på rødder.



Figur 4. Måling af roddiameter med skydelære på en bøgerod monteret på måleplade.

På alle øvrige lokaliteter blev planterne gravet op med spade ved at løsne jorden rundt om planten i 20 cm's afstand og efterfølgende grave ind under planterne i omtrent 40 cm's dybde.

Efter opgravning blev en del af jorden forsigtigt fjernet for at lette transporten af planterne. Planterne blev omhyggeligt placeret på et blødt underlag af grangrene for ikke at knække eller bøje rødderne. Efterfølgende blev planterne med intakte rodsystemer transporteret til laboratoriet, hvor de blev vasket fri for jord og ophængt i snore fri af underlaget, således at der ikke skete nogen deformation af rodsystemet.

Rodsystemerne blev analyseret over den følgende 2 måneders periode. Der skete en del udtørring af planterne, som har bevirket at især de mindre rødders tværsnits diameter gradvist er blevet reduceret. Dette antages ikke at have nogen indflydelse på sammenligningerne mellem pottetyper, fordi langt den største indtørring skete i de første 14 dage efter rodvasken inden rodanalyserne påbegyndtes, og rodsystemerne analyseredes i helt tilfældig rækkefølge. Ophængningen bevirkede også at små horisontale rødder fik en lettere nedadbøjet retning i forhold til deres oprindelige retning i jorden. Nedbøjningen var dog minimal indenfor den måleradius hvor rodsymmetri blev målt.

### 3.5 Målinger

Ofte befinder den oprindelige rodhals sig under jorden efter plantning, og der ses tit nye adventivrødder udviklet på stammen over den tidligere rodhals. Vi valgte at sætte grænsen mellem rodsystem og stamme ved jordoverfladen. Ud fra markeringen på stammen 10 cm over jordoverfladen blev den funktionelle rodhals afmærket, og top og rod blev adskilt med sav. Plantens stammediameter blev målt 10 cm oppe ad stammen med et digitalt skydelære med to korsvise målinger, således at de to målinger repræsenterer diameteren i de to retninger nord/syd og øst/vest. Toppen blev efterfølgende klippet op i mindre stykker, og anbragt i papirpose for tørring.

Roden blev forsynet med et lille 3 mm dybt hul ned gennem centrum af hovedroden, således at hullets længderetning ned i roden fulgte den linje, der var lodret i forhold til rodsystemets orientering, som det var i bevoksningen. Rodsystemet placeredes derefter omvendt på en måleplade på en 3 mm stålstift med rødderne opad. Målepladen var opdelt således, at stålstiften sad i midten af en kompasrose. Rodsystemet orienteredes således at nordmærket var ud for 0°. Efterfølgende blev alle rødders størrelse og retning målt. Dette blev gjort ved indledningsvis at opdele rodvolumenet i to sektioner (Figur 3), hvor sektionernes grænse var defineret ved en radius på 5 cm og en dybde på henholdsvis 10 og 20 cm. Sektionsgrænserne blev tydeliggjort ved anvendelse af stålstænger (Figur 4). Det viste sig ved den efterfølgende databehandling, at der var for få rødder på planterne til en opdeling i to sektioner og der blev derfor kun brugt en sektion med en måleradius på 5 cm og en dybde på 20 cm.

Rødderne opdelt i henholdsvis horisontale og vertikale rødder. De horisontale havde en vinkel i forhold til vandret på mindre end 45°, og deres diameter målt i 5 cm's radius med digitalt skydelære. Rødder med en vinkel i forhold til vandret på mere end 45° blev defineret som vertikale rødder, og deres diameter målt i 20 cm's dybde. Pælerødder målt på samme måde som vertikale rødder. Samtidig med målingen af diameteren noteredes rodens kompasretning, der hvor roden skærer 5 cm radius. Det var kun rødder med en diameter på mere end 2 mm ved sektionegrænsen der blev opmålt. Planterne fra forsøg 8 og 9 blev gravet op efter kun to vækstsæsoner, og derfor var planterne her betydeligt mindre. Rodsystemet er derfor målt med en enkelt sektion med en radius på 3 cm og dybde på 15 cm.

Da alle rødders kompasretninger var noteret, kunne antallet af rødder for 90 graders udsnit af hele rodsystemet beregnes. Denne beregning blev foretaget i alt 12 gange ved at rotere udsnittet 30 grader hver gang, altså for udsnit 1) 0-90°, udsnit 2) 30-120° osv. Det udsnit der havde det laveste antal blev betegnet NSYMMIN, og det udsnit der havde det højeste antal fik betegnelsen NSYMMAX. De to variable NSYMMIN og NSYMMAX blev beregnet for horisontale og vertikale rødder hver for sig. NSYMMIN vil ligge mellem 0 og 25, mens NSYMMAX vil ligge mellem 25 og 100. I et helt symmetrisk rodssystem er både NSYMMIN og NSYMMAX lig med 25. Det vil sige at når NSYMMIN går fra 25 mod 0 bliver fordelingen dårligere. Rodsymmetrien forringes også når NSYMMAX går fra 25 mod 100.

Denne måling af rødderne bygger i store træk på ROOTARCH-metoden (Nielsen, 1995), men er her anvendt i en udgave tilpasset mindre planter/træer. For en mere detaljeret beskrivelse af metoden henvises til ovennævnte reference.

På baggrund af diameter målingerne beregnedes røddernes tværsnitsareal rCSA (Root cross sectional areas) som:

$$(\text{roddiameter}/2)^2 * \pi$$

Indledende målinger havde vist, at rødder på planter af denne størrelse ikke havde ovale rødder, og derfor baseredes beregningen af tværsnitsarealet på en enkelt måling af rodens diameter. På baggrund af rCSA for de enkelte rødder beregnedes den samlede rCSA for planten.

Rodtværsnitsarealet brugtes også til at beregne et udtryk for rodsymmetrien. På samme måde som for antal rødder (NSYMMIN og NSYMMAX) blev rCSA også beregnet i udsnit af 90 grader. Det udsnit der havde den laveste rCSA blev betegnet SYMMIN, og det udsnit der havde den højeste rCSA fik betegnelsen SYMMAX. Variablene SYMMIN og SYMMAX blev beregnet for horisontale og vertikale rødder hver for sig og samlet for hele rodssystemet. SYMMAX blev også beregnet hvor rødder med deformationer var udeladt.

Af de beregnede værdier for rodsymmetri valgte vi kun at gå videre med SYMMAX. Der er i høj grad et sammenfald mellem NSYMMIN og SYM-

MIN og mellem NSYMMAX og SYMMAX. Samtidig var det et problem at anvende NSYMMIN og SYMMIN pga. det lave antal rødder pr. plante.

For at få et estimat af potentialet for optimering af rodsymmetrien blev antallet af adventivrødder med diameter på mindre end 2 mm på de øverste 5 cm af hovedroden optalt. Optællingen blev foretaget for hver af 4 kvadranter fra 0-90, 90-180, 180-270 og 270-360 grader i horisontal retning. Til adventivrødder medregnedes kun rødder, der havde en vokseretning vandret og tilnærmet vinkelret ud fra hovedroden. Denne parameter viste sig at være problematisk. Antallet af rødder i hele rodsystemet er positivt korreleret med plantens størrelse, mens antallet af adventivrødder under 2mm i diameter var negativt korreleret med plantens størrelse. Da tolkningen af denne parameter derfor ikke er entydig er den udeladt af de grundigere analyser.

For hver rod større end 2mm i diameter blev der registreret roddeformationer. Hvor røddernes længderetning ændredes i skarpe vinkler på mere end 90° registreredes et rodknæ. Rodknæene skønnedes til at være enten 90° eller 180°, og antallet pr. rod blev optalt. Rødder som voksede rundt om hovedrodens akse blev betegnet som rodsnøre, og graden af roddeformationen blev registreret som rodsnøre med 90°, 180°, 270° eller større end 360° grader.

Hovedrodens form blev vurderet visuelt til at være 1) lodret (OK), 2) med den nederste del bukket vandret ud til siden (L-formet) eller 3) med den nederste del bukket opad (J-formet).

Efter at alle strukturelle målinger var udført klippedes roden op i mindre stykker og blev anbragt i en papirpose. Rod og top blev efterfølgende tørret ved 70 °C i 48 timer. I løbet af måleperioden blev enkelte prøver tilfældigt udvalgt og varmet op i yderligere 48 timer ved 105 °C. Disse stikprøver viste, at der gennemsnitligt var 2-4 % vand tilbage i prøverne efter tørring ved 70 °C i 48 timer. Der kunne ikke registreres nogen signifikant forskel på rod og top med hensyn til restfugt efter tørring.

### 3.6 Statistik

De statistiske analyser er lavet for sammenligning af pottetyper indenfor hver lokalitet og plantetidspunkt, og analyserne er foretaget for eg og bøg hver for sig. Det var ikke muligt at opstille en flerfaktor model, da eg og bøg ikke er udplantet på samme lokaliteter, og da der for samme art ikke er anvendt samme proveniens i alle udplantninger. På samme måde er det heller ikke muligt, at teste for signifikante forskelle mellem de udplantede dækrodsplanter og planter opgravet fra foryngelser og kulturkommissionsprojektet. I analysen af planter fra udplantningen i september 2002 er barrodsplanter fra oktober samme år taget med i sammenligningen.

Samtlige statistiske analyser er foretaget i Statistical Analysis System (Littell et al., 2002). Kontinuerte responsvariable analyseredes vha. en variansanalyse eller covariansanalyse i PROC GLM. Hvor der var signifikant effekt

af den tilfældige variabel blok blev PROC MIXED anvendt i stedet for. Normalfordelingen af residualerne blev undersøgt vha. Shapiro\_Wilk testen i PROC UNIVARIATE. Normalfordelingen blev ligeledes testet grafisk ved plot af residualer mod predikterede værdier. Responsvariable som ikke var normalfordelte blev transformeret med den naturlige logaritme eller kvadratroden inden variansanalysen blev foretaget. Varianshomogenitet blev undersøgt grafisk på plottene af residualer mod predikterede værdier. LSMEANS (least square means) værdier blev beregnet for hver pottetype og forskelle mellem pottetyper blev testet for signifikans vha. parvise t-tests. I analysen af rod/topforholdet er plantens størrelse (samlede plantevægt) anvendt som covariat i analysen.

Roddeformationerne er kvantificeret som antal rødder med rodknæ henholdsvis rodsnøre pr. plante. Disse data var langt fra normalfordelte både med og uden transformation, og de er analyseret med en generaliseret lineær model i proceduren GENMOD. Her blev på samme måde beregnet LSMEANS-værdier som testedes for signifikante forskelle vha. parvise  $\chi^2$  - tests.



## 4 Resultater

Vi har i dette projekt undersøgt en lang række parametre til beskrivelse af rodudvikling. Flere af parametrene viste sig stort set at beskrive de samme forhold, og derfor er en del sorteret fra i denne præsentation. Der var også nogle parametre, som ikke viste sig anvendelige i dette projekt, og de er selvfølgelig også udeladt. Det er de samme parametre der er undersøgt for både bøg og eg, men for overskuelighedens skyld er resultaterne for de to arter præsenteret hver for sig.

### 4.1 Bøg

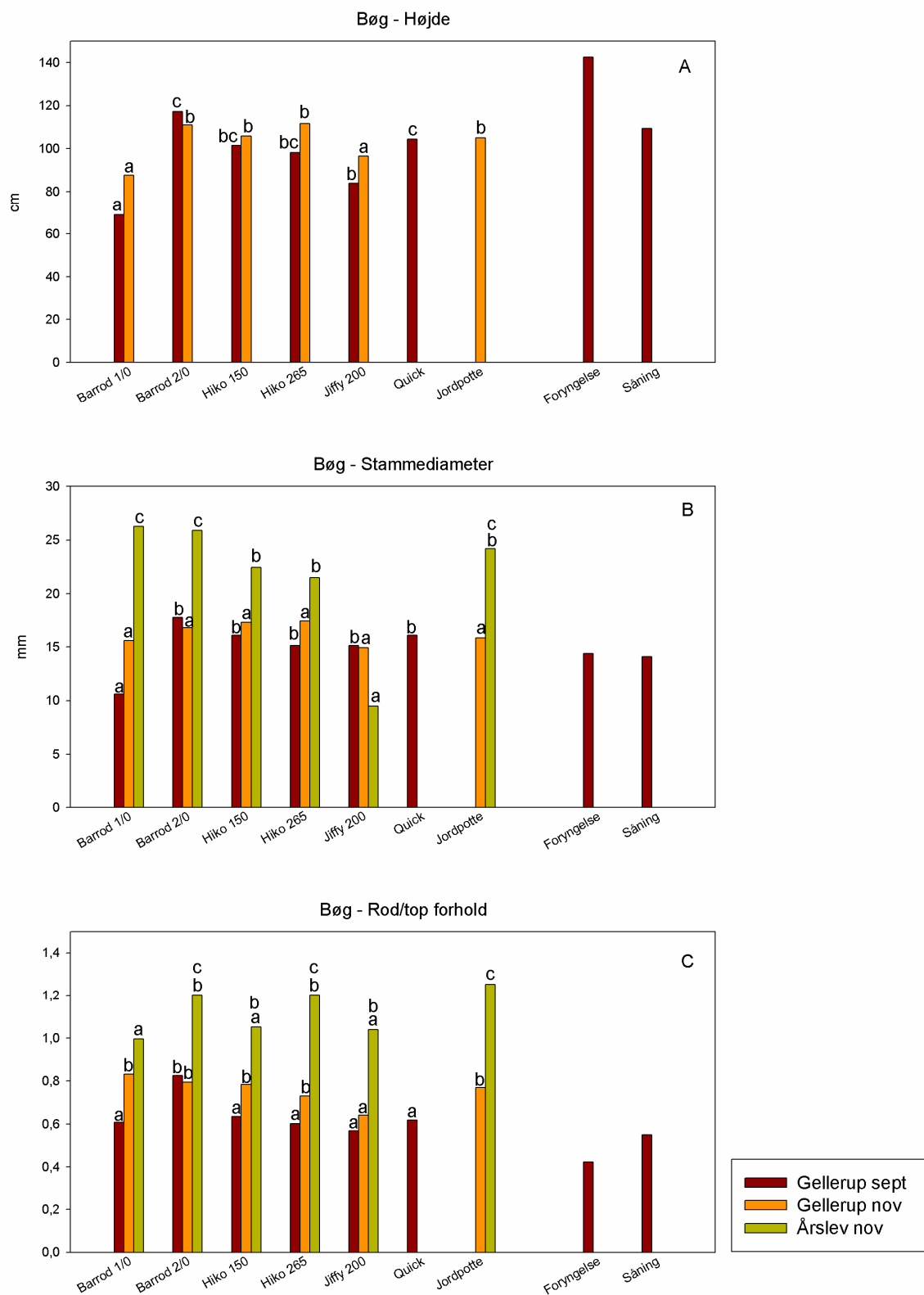
#### 4.1.1 Højde, stammediameter, roddybde og rod/top forhold

Der var en mindre effekt af pottetype på bøgenes vækst. Ved opgravningen var den gennemsnitlige højde for alle dækrodstyperne således mellem 84 – 104 cm i bøg udplantet i september på Gellerup plantage (Figur 5a). To-årige barrodsplanter var svagt højere end de fleste dækrodsplanter (117 cm), mens de 1-årige barrodsplanter var signifikant lavere (69 cm). Planter fra november udplantningen lå omtrent i samme højdeinterval, dog var forskellene mellem plantetyper mindre. Som det fremgår af figuren var planterne fra såning og selvforyngelse i sammenlignelig størrelse. Størrelsen af bøg i selvforyngede og såede kulturer kan ikke direkte sammenlignes med dækrodsforsøget, men bringes her for at vise eksempler på den variation der er, når frøet bringes til spiring direkte på voksestedet.

Der var heller ikke de store forskelle i stammediameter mellem forskellige plantetyper i bøgene på Gellerup (15 – 18 mm) (Figur 5b). Her var det også de 1-årige barrodsplanter fra september udplantningen der var signifikant mindre (11 mm). Planterne fra Årslev var betydeligt større, hvilket kunne ses af stammediameteren som lå mellem 22 – 26 mm for alle plantetyper på nær Jiffy200, som var signifikant mindre med en stammediameter på 10 mm.

Den maximale roddybde lå i intervallet mellem 26 og 30 cm, men på grund af den meget store variation i denne parameter, var der ikke signifikante forskelle. Der kunne dog spores en tendens til lavere roddybde i etårige barrodsplanter. I selvforyngede og såede bøg var roddybden lidt større (36 og 34 cm henholdsvis). Planterne fra selvforyngelse og såning er taget med for at vise det naturlige niveau uden omplantning, men de kan ikke testes statistisk i forhold til dækrodsplanterne pga. forskellig alder, jordbund, proveniens og gravemetode.

Forholdet mellem planternes top og rod ændres med planternes størrelse, således er det almindelig kendt, at rod/top forholdet gradvist bliver mindre jo større træerne bliver. Denne udvikling ses også generelt for bøg i dette projekt, og for at fjerne den variation, der skyldes forskellig størrelse af planterne, er plantens vægt brugt som covariat i analysen. Derved analyseres der for eventuelle forskelle i rod/top forhold mellem pottetyperne ved samme gennemsnitlige plantestørrelse. Som gennemsnit over alle pottetyper fra Gellerup var rod/top forholdet større på planter fra november plantnin-



Figur 5. A) Højde, B) stammediameter og C) rod/top forhold i 7 forskellige plantetyper i 3 forskellige kulturer af bøg. Plantetyperne er sammenlignet i en variansanalyse indenfor hver kultur for sig. Plantetyper der er markeret med et ens bogstav (a,b,c osv.) er ikke signifikant forskellige. Planter fra selvforryngelse og sået kultur er vist som reference.

gen (0,79) i forhold til september plantningen (0,61) (Figur 5c). Ellers var de mest markante effekter af pottetype for bøg i Gellerup, at Jiffy havde signifikant mindre rod/top forhold end alle andre pottetyper i november udplantningen, mens toårige barrodsplanter havde signifikant større rod/top forhold end alle andre pottetyper i september plantningen. Planter udplantet på markjord (Årslev) havde generelt større rod/top forhold end planterne i skovkulturerne (1,0 – 1,25). Her havde Jiffy også et relativt lavt rod/top forhold, men dette gjaldt også for 1-årige barrodsplanter og Hiko150. I sammenligning med de plantede træer var rod/top forholdet markant lavere i de selvforryngede (0,42) og de såede planter (0,55).

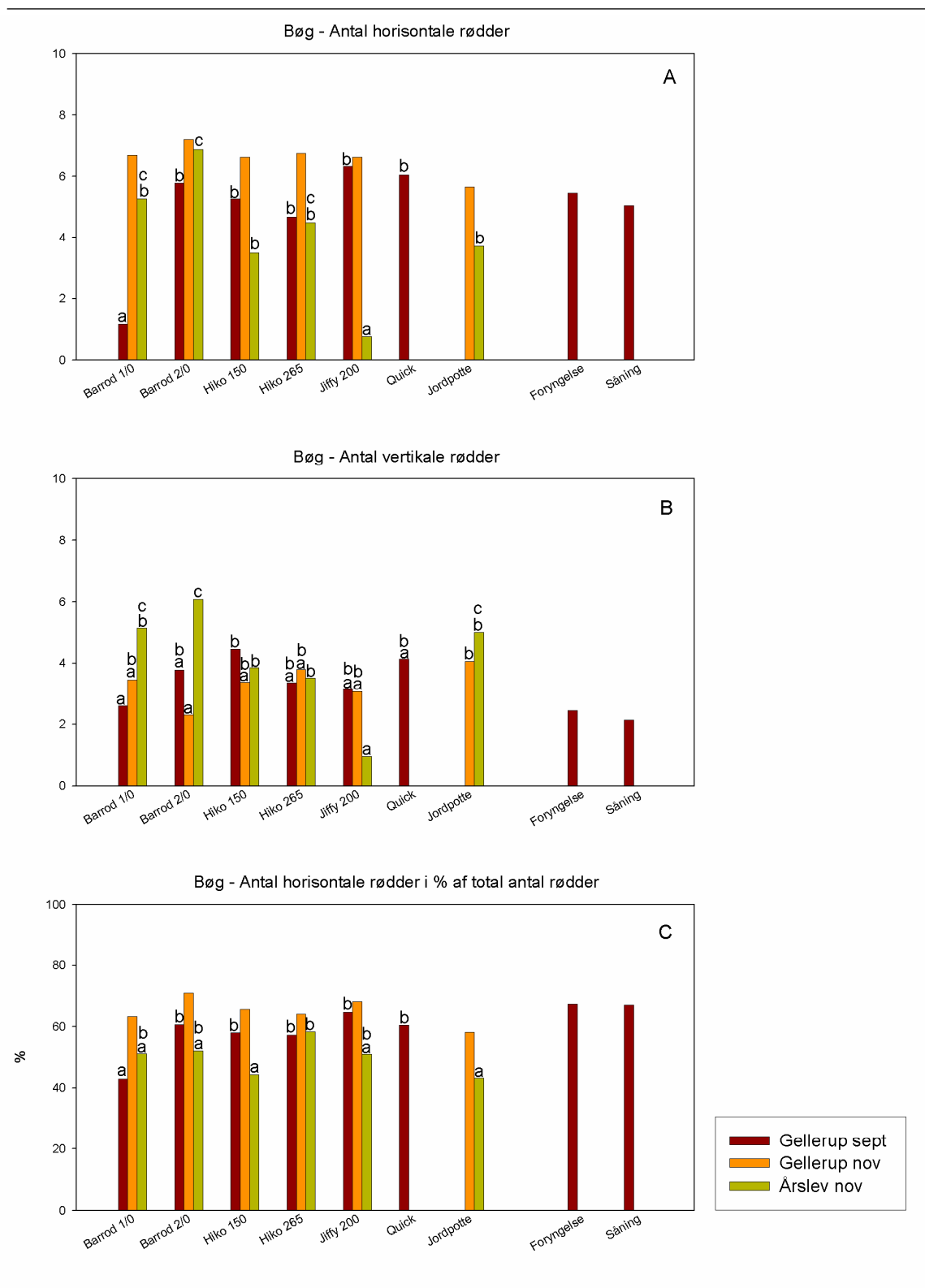
#### 4.1.2 Rodantal

Da planterne endnu var unge ved opgravningen, var antallet af strukturelle rødder lavt. Generelt var der flere horisontale rødder end vertikale rødder, som det ses af Figur 6a lå antallet af horisontale rødder mellem 4,7 – 7,2 for planterne på Gellerup. Der var ingen forskel i antal mellem pottetyperne i november udplantningen, mens 1-årige barrodsplanter havde et signifikant lavere antal i september udplantningen. I bøgene på Årslev så det ud til at antallet af horisontale rødder generelt var lidt lavere, og her var der et signifikant lavere antal i Jiffy200 med 0,76 pr plante. Antallet af horisontale rødder i selvforryngede og såede bøg lå helt på samme niveau, som dækrodsplanterne.

Antallet af vertikale rødder lå mellem 2,6 – 4,5 for bøg fra Gellerup (Figur 6b). Der var ikke nogen afgørende forskelle mellem de to udplantningstidspunkter, og den vigtigste tendens var at barrod 1/0 og barrod 2/0 havde noget lavere antal for henholdsvis september og november udplantningen. Til gengæld var udviklingen af vertikale rødder fremmet i de to barrodstyper på markjorden i Årslev, og på denne lokalitet var antallet af vertikale rødder for Jiffy200 også markant lavt.

For at lette sammenligningen har vi beregnet de enkelte rodtypers andel af den samlede rodmængde pr. plante (Figur 6c). I Gellerup plantage var andelen af horisontale rødder ganske lidt større ved november plantningen, (64 %) i forhold til september plantningen (57 %). Der var ingen signifikante forskelle mellem plantetyper ved november udplantningen, mens 1-årige barrodsplanter havde en signifikant lavere andel horisontale rødder ved september udplantningen (43 %). Der var også ganske små forskelle imellem de enkelte pottetyper. I både den naturligt forryngede og den såede kultur udgjorde de horisontale rødder 67 % af det totale antal rødder. I bøg fra markkulturen var andelen af horisontale rødder noget lavere. Her var det også Jordpote, der havde den laveste værdi med 43 %, mens Hiko265 havde relativt flest horisontale rødder med 58 %. Andelen af vertikale rødder er selvfølgelig komplementær til andelen af horisontale rødder og ændres i takt med disse.

Antallet af pælerødder påvirkedes af plantetypen, og der var også forskel på september og november plantningen i Gellerup. Ved september udplantningen var det gennemsnitlige antal af pælerødder i Jiffy200 kun 0,3 mens de øvrige pottetyper havde fra 0,7 til 1,2 pælerødder. I november plantningen



Figur 6. Antal horisontale rødder (A), vertikale rødder (B) og antal horisontale rødder i procent af det totale antal rødder pr. plante (C) i bøg. Forklaring se figur 5.

var denne rangorden ændret betydeligt. Her var det Jiffy200 der med 0,9 pælerod pr. plante havde det største antal, mens de øvrige lå på et gennemsnitligt antal fra 0,4 til 0,8. Til sammenligning havde bøgeplanterne fra den naturlige foryngelse i Gunderslevholm 1,2 pælerod pr. plante, mens dette tal var 0,9 for de såede bøg i Harte.

#### 4.1.3 Rodtværnsitsareal

Røddernes tværnsitsareal (rCSA) afspejler i nogen grad antallet af rødder. Således lå de horisontale rødders CSA på 55 – 68 mm<sup>2</sup> i bøg fra Gellerup september udplantningen (Figur 7a). Eneste undtagelse var 1-årige barrødsplanter, som havde et signifikant lavere CSA på 15 mm<sup>2</sup>. Rodtværnsitsarealet var markant større i november udplantningen (99 – 133 mm<sup>2</sup>), men her var der ingen signifikante forskelle mellem pottetyper. Mens antallet af horisontale rødder generelt var lidt lavere for bøg på Årslev i forhold til bøg på Gellerup, var det omvendte gældende for rCSA på den samme rodfraktion. Det var især markant for 1-årige barrødsplanter (187 mm<sup>2</sup>). Selvforyngede og såede bøg havde en rCSA på horisontale rødder der var på niveau med bøg på Gellerup i september udplantning, henholdsvis 44 og 54 mm<sup>2</sup>.

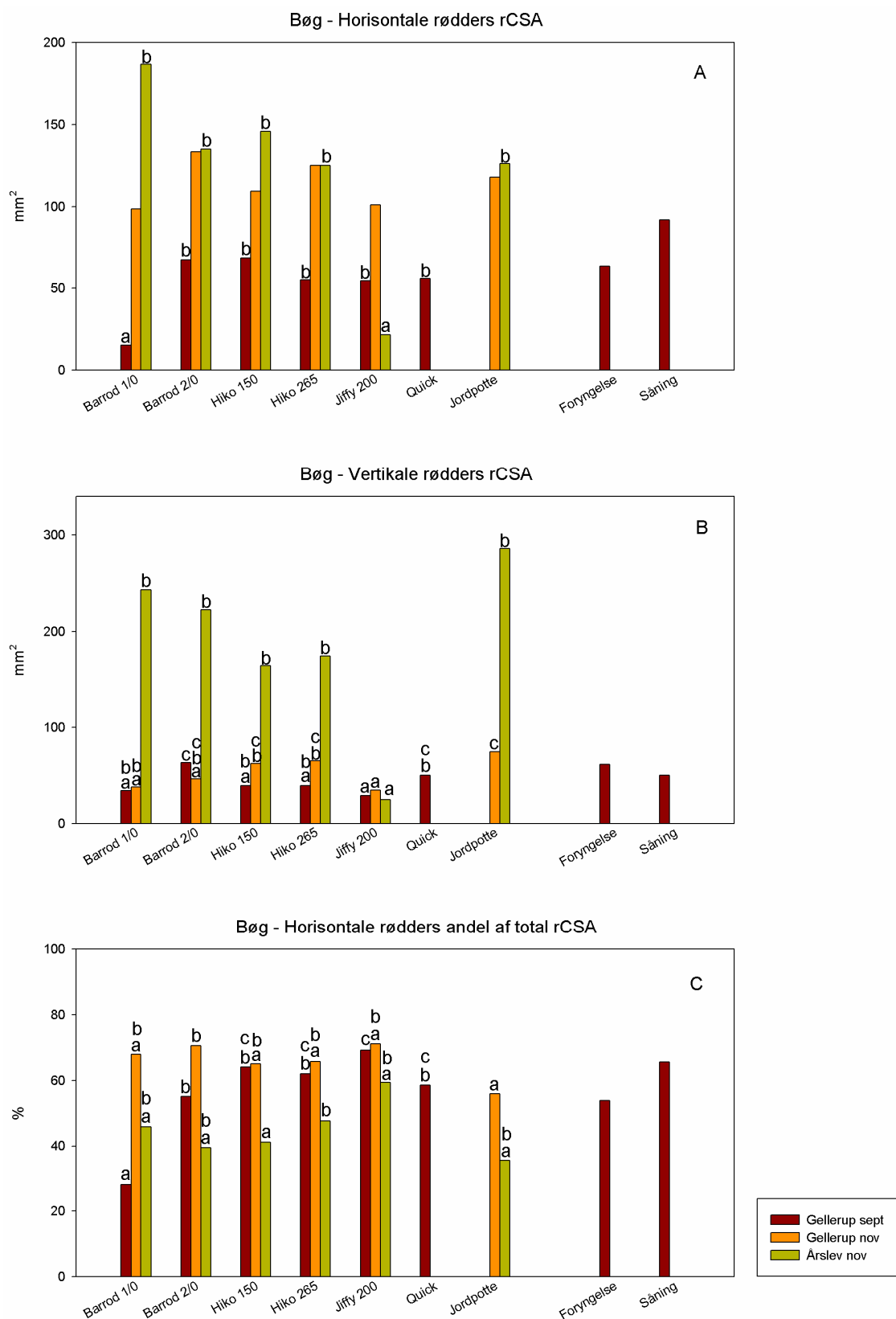
De vertikale rødders tværnsitsareal lå på mellem 29 – 74 mm<sup>2</sup> for bøg på Gellerup (Figur 7b). Her var der nogen forskel mellem enkelte af pottetyperne, og en tendens til større tværnsitsareal for bøg i november udplantningen. Etårige barrødsplanter og Jiffy200 var også her noget lavere end de øvrige. Mest interessant var dog, at bøg fra markkulturen havde et meget stort tværnsitsareal af vertikale rødder på 164 – 286 mm<sup>2</sup>, med undtagelse af Jiffy200 med 25 mm<sup>2</sup>. De vertikale rødder i selvforyngede og såede bøg havde en rCSA på 61 og 50 mm<sup>2</sup> henholdsvis.

Der var kun mindre forskelle mellem plantetyperne i fordelingen af rCSA mellem horisontale og vertikale rødder (Figur 7c). Således udgjorde de horisontale rødders rCSA mellem 56 og 71 % af den totale rCSA i bøg fra Gellerup november plantning. Planter udplantet i september lå på samme niveau (55 – 69 %) bortset fra etårige barrødsplanter (28 %). På trods af de horisontale rødders ret høje rCSA i planter fra Årslev udgjorde de relativt mindre af den samlede rCSA (36 – 59 %). Horisontale rødders rCSA i selvforyngede og såede bøg udgjorde henholdsvis 54 og 66 % af total rCSA.

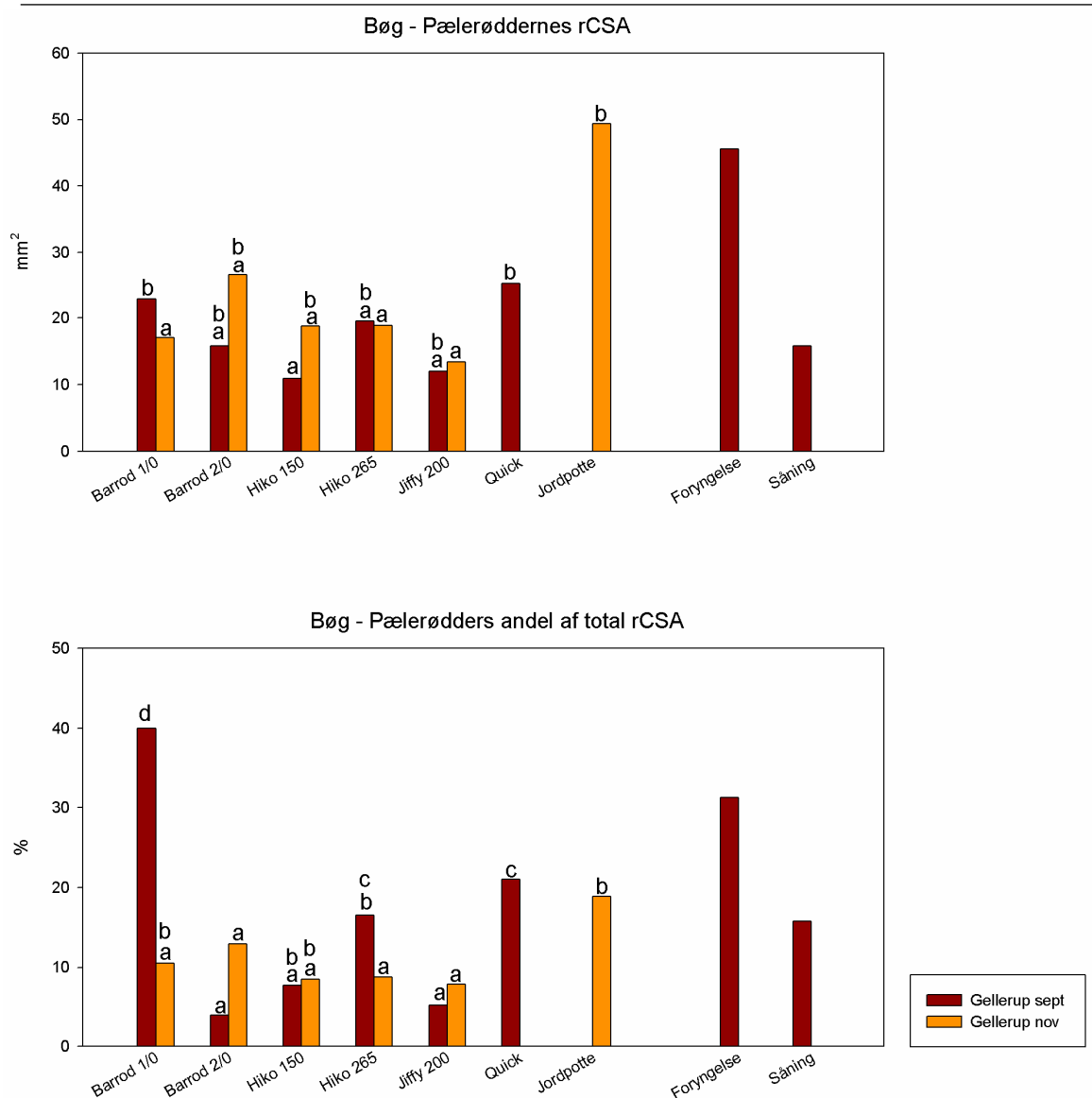
Pælerøddernes tværnsitsareal lå mellem 10 og 25 mm<sup>2</sup> for de fleste plantetyper, med Jordpote som en undtagelse med 50 mm<sup>2</sup> (Figur 8a). Pælerødderne, som er en del af de vertikale rødder, udgjorde en mindre andel af total rCSA i de fleste plantetyper (5 – 20 %) (Figur 8b). Eneste undtagelse var etårige barrødsplanter, hvor pælerøddernes rCSA var 40 % af total rCSA. I de selvforyngede og såede bøg var denne andel på 31 og 16 % henholdsvis.

#### 4.1.4 Rodsymmetri

Den beregnede parameter for rodsymmetri SYMMAX afslørede ikke nogen væsentlige forskelle mellem de forskellige pottetyper (Figur 9). I de horisontale rødder lå SYMMAX for alle pottetyper i intervallet 61 – 75 % med undtagelse af Jiffy200 fra Årslev med 89 % (Figur 9a). Selvforyngede og såede bøg havde en SYMMAX på 63 og 61 %. I de vertikale rødder var der lidt



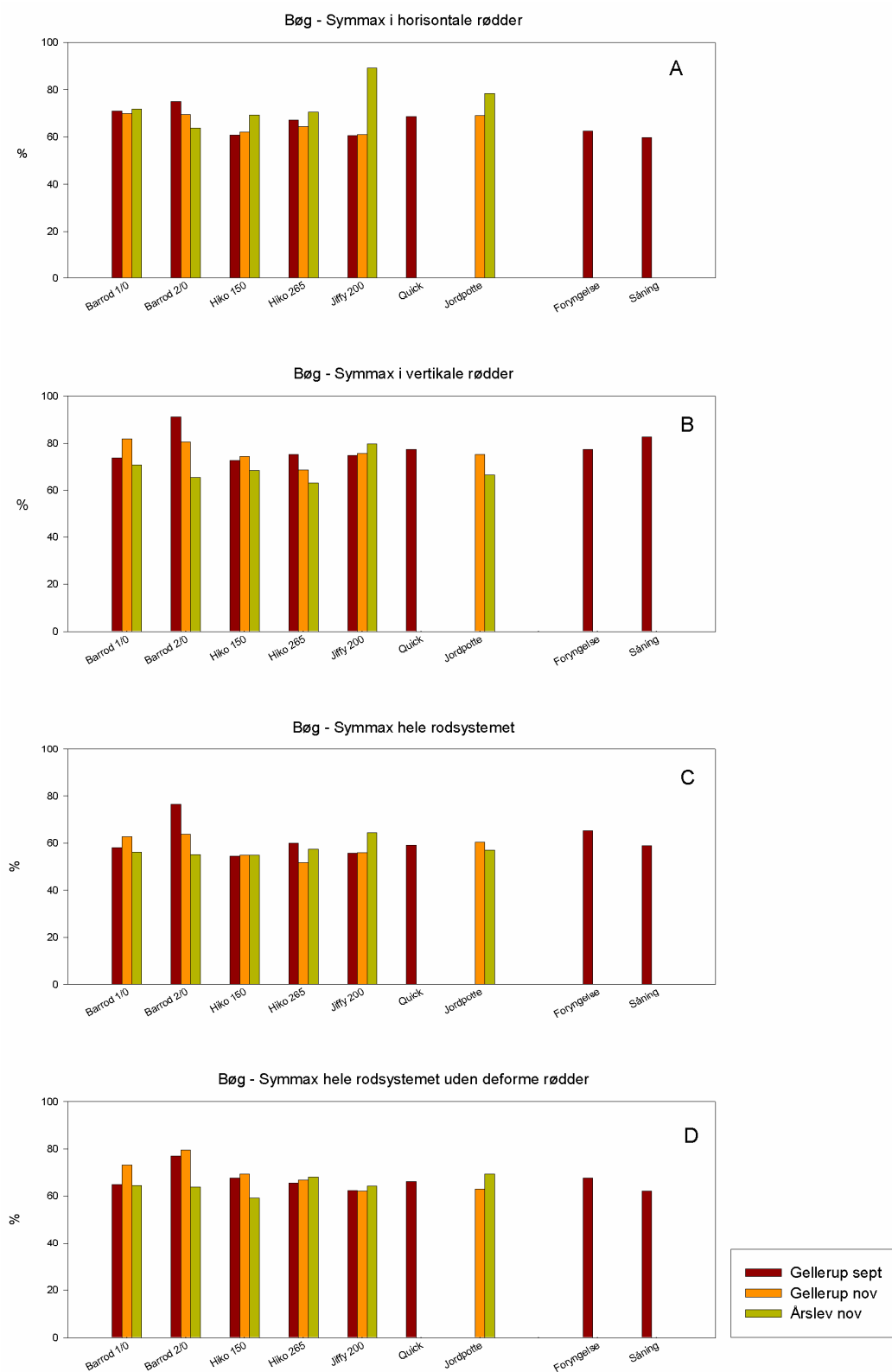
Figur 7. Rodtværnsareal af horizontale rødder (A), rodtværnsareal af vertikale rødder (B) og de horizontale rødders andel af plantens samlede rodtværnsareal (C) i bøg. Forklaring se figur 5.



Figur 8. Pælerødders rodtværsnitsareal (A) og pælerødders andel af det totale rodtværsnitsareal i bøg. Forklaring se figur 5.

større spredning i SYMMAX og værdierne lå generelt lidt højere (63 – 91 %) (Figur 9b). De selvforyngede og såede bøg var også lidt højere her med henholdsvis 77 og 83 %. Altså generelt en mere asymmetrisk fordeling af de vertikale rødder end af de horisontale rødder.

Når hele rodsystemet analyseredes samlet var der en højere grad af symmetri, idet SYMMAX var noget lavere her (54 – 64 %), med en vigtig undtagelse, hvor barrodsplanter fra september udplantningen på Gellerup havde en SYMMAX på 76 % (Figur 9c). Her var der igen meget få udsving mellem de forskellige pottetyper, og selvforyngede og såede bøg var på samme niveau som dækrodstyperne. I beregningen hvor alle rødder med deformationer blev udeladt, var der en lidt højere SYMMAX (59 – 79 %), og her var det også toårige barrodsplanter i skovkulturen der havde den største SYMMAX (Figur 9d).



Figur 9. Symmetri (SYMMAX) af de horisontale rødder (A), SYMMAX af de vertikale rødder (B), SYMMAX af hele rodsystemet (C) og SYMMAX af hele rodsystemet uden rødder med roddeformationer (D) i bøg. Forklaring se figur 6.



Antallet af nye små adventivrødder på de øverste 5 cm af hovedroden viste sig at være et problematisk mål for plantens evne til at genoprette rodsymmetri. Antallet af rødder i hele rodsystemet er positivt korreleret med plantens størrelse, mens antallet af adventivrødder under 2mm i diameter var negativt korreleret med plantens størrelse. Antallet af rødder i denne kategori afspejler i nogen grad de rødder, der lige netop er for små til at indgå i diametermålingen. De vil selvfølgelig være relativt overrepræsenteret i mindre planter. Da tolkningen derfor ikke er entydig, er denne parameter udeladt.

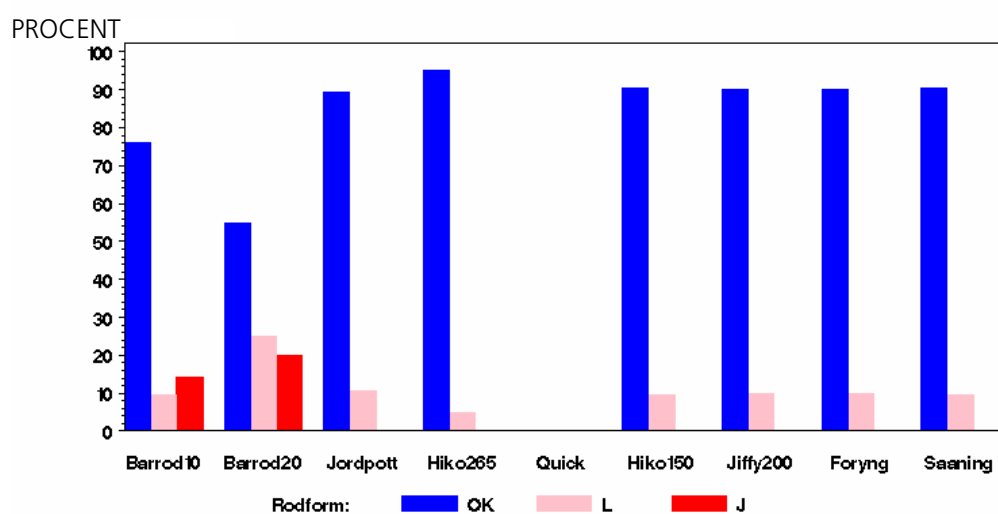
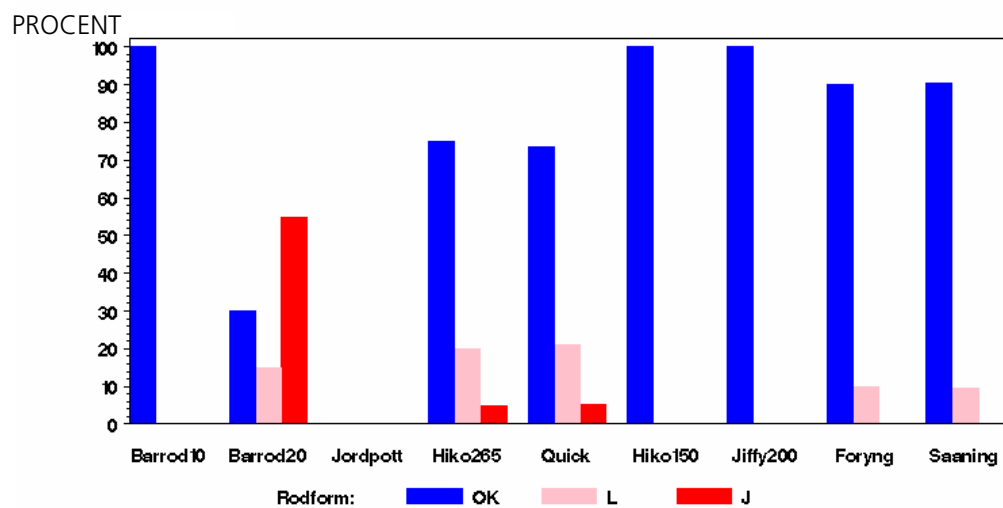
#### 4.1.5 Roddeformationer

I selvforyngede og såede bøg var andelen af planter med bøjet eller deformeret rodform under 10 % (Figur 10). Denne lave frekvens fandtes også i dækrodstyperne Hiko150, Jiffy200 og Jordpote. Blandt etårige barrodsplanter, Hiko 265 og Quick var der en noget større andel af planter med afbøjet hovedrod (18-26 %). Blandt disse pottetyper blev en del af de skadede rødder kategoriserede som meget deforme. Størst skade havde de 2-årige barrodsplanter. Her var andelen af planter med deforme hovedrødder omkring 60 %, hvoraf hovedparten var stærkt deformerede. Pottetypens indflydelse på rodformen var stort set den samme ved begge plantninger, dog var rodformen betydeligt bedre ved november plantningen for Hiko 265.

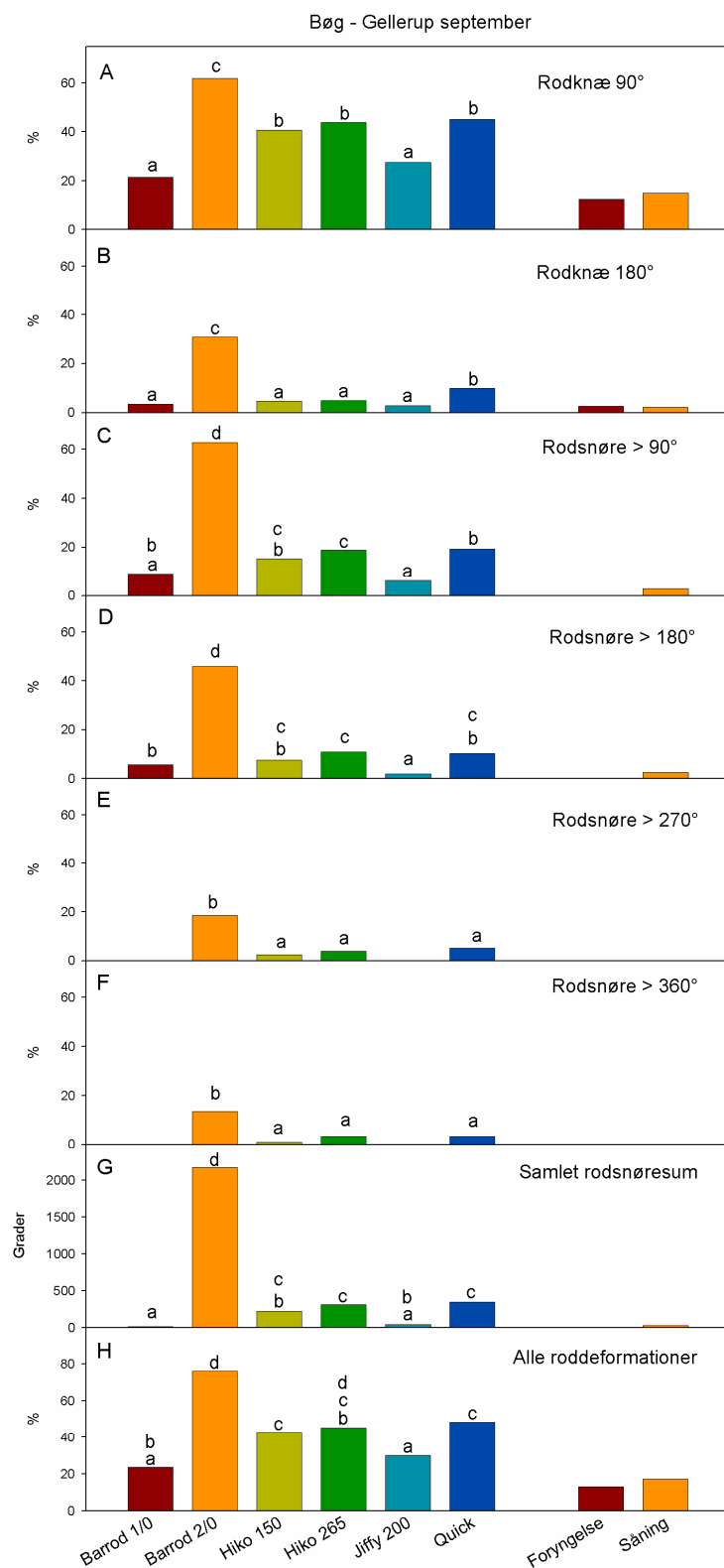
Rodknæ forekom i alle pottetyper i bøg fra Gellerup september udplantning (Figur11). I 1-årige barrodsplanter og Jiffy200 var andelen af rødder med 90° rodknæ omkring 20 %, mens denne parameter var på ca. 40 % for Hiko150, Hiko265 og Quick (Figur 11a). Toårige barrodsplanter skilte sig ud med helt op til 62 % af rødderne med 90° rodknæ. I selvforyngede og såede bøg var andelen af rødder med 90° rodknæ på 12 og 15 %. Der var langt færre rødder med 180° rodknæ i alle plantetyper (Figur 11b). Således havde kun 3 og 2 % af rødderne hos henholdsvis selvforyngede og såede bøg denne fejl. I etårige barrodsplanter, Hiko150, Hiko265 og Jiffy200 var andelen mellem 3 – 5 %, mens 10 % af rødderne i Quick havde denne rodfejl og hele 31 % af rødderne i 2-årige barrodsplanter var skadet.

Rodsnøre var stort set fraværende i selvforyngede og såede bøg, mens alle plantede bøg havde denne roddeformation i højere eller mindre grad. I 1-årige barrodsplanter og Jiffy200 lå andelen af rødder med 90° rodsnøre på mindre end 10 %, mens Hiko150, Hiko265 og Quick lå mellem 15 og 20 % (Figur 11c). Toårige barrodsplanter havde 90° rodsnøre på mere 60 % af rødderne. Rodsnøre i højere grad forekom på en stadig mindre andel af det samlede antal rødder (Figur 11d – 11f), og for alle dækrodstyper var andelen af rødder med mere end 270° rodsnøre minimalt. For 2-årige barrodsplanter kunne der dog stadig måles op til 13 % rødder med mere end 360° rodsnøre (Figur 11f). Når den samlede sum af rodsnøre blev beregnet for hele rodsystemet skilte 2-årige barrodsplanter sig også klart ud fra de andre plantetyper (Figur 11g). Andelen af rødder, der havde enten rodknæ eller rodsnøre, viste stort set det samme billede som andelen af rødder med 90° rodknæ (Figur 11h).

I sammenligningen af rodknæ på tværs af de 3 udplantninger var det mest bemærkelsesværdige, at 1-årige barrodsplanter havde en andel af rodknæ på



Figur 10. Hovedrodens form i 7 plantetyper af bøg på to plantetidspunkter A) September og B) November. Skaderne er opdelt i 3 kategorier: OK = roden er lodret, L = roden er L-formet og J = roden er J-formet

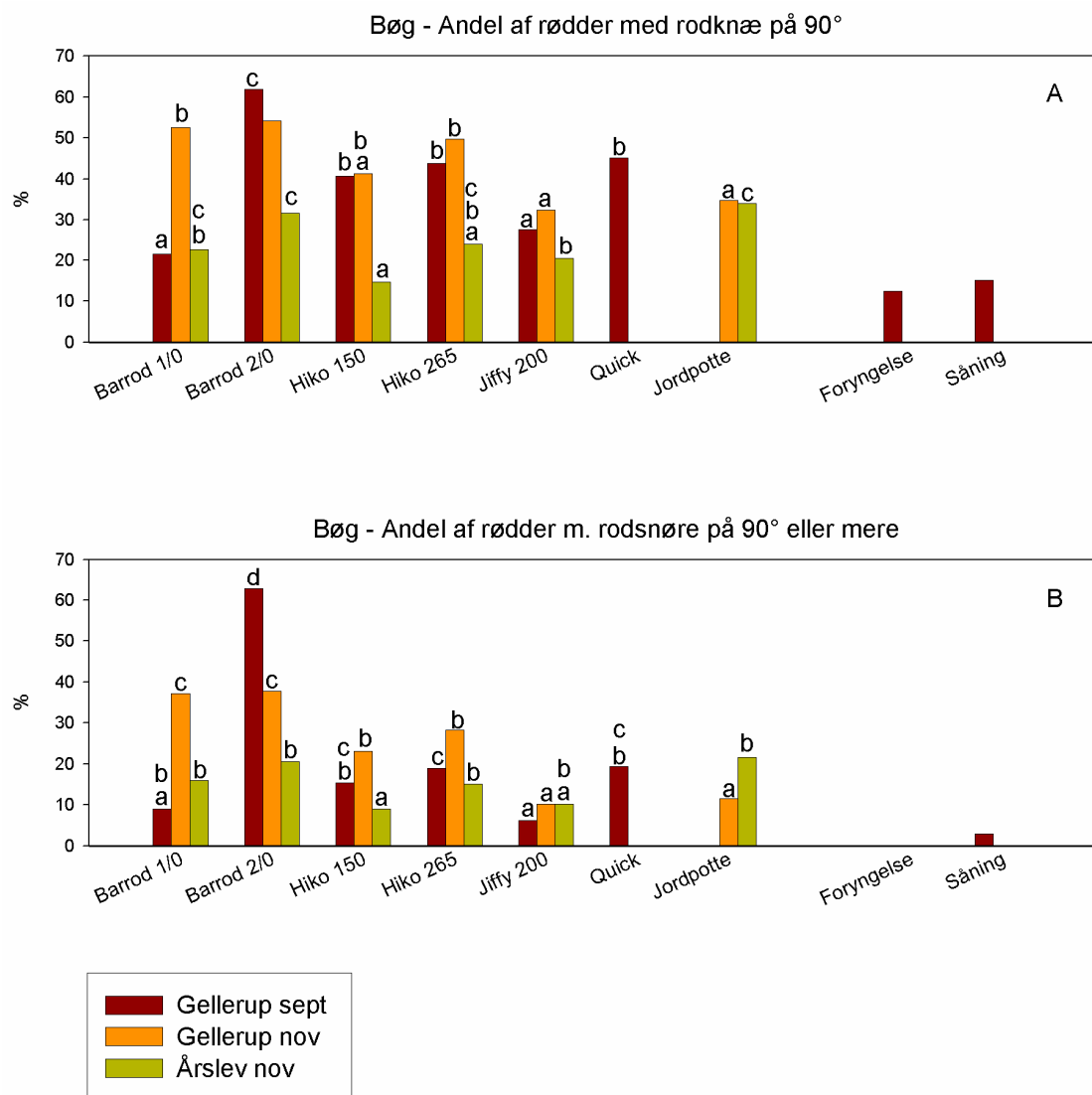


Figur 11. Roddeformationer i 7 plantetyper af bøg fra september udplantning i Gellerup. A) Fraktion af rødder med rodknæ på 90° eller større, B) Fraktion af rødder med rodknæ på 180° eller større, C) Fraktion af rødder m. rodsnøre på 90° eller større, C-F Fraktion af rødder med stigende grader af rodsnøre, G) Samlet sum af gradantal for rodsnøre, H) Fraktion af rødder med enten rodknæ eller rodsnøre.

niveau med de øvrige plantetyper ved november udplantningen på Gellerup (Figur 12a). Ligeledes var der markant færre rodknæ på planter fra Årslev med undtagelse af Jordpote. Analysen af 90° rodsnøre i de 3 udplantninger viste stort set samme billede (Figur 12b).

#### 4.1.6 Basalsvaj

Den basale del af stammen havde en hældning fra lodret på mellem 4,4 og 8,8 grader. Der var mindre forskelle mellem pottetyperne, men det var kun Jiffy200, der havde en signifikant større hældning end de to Hiko pottetyper. Der var ikke nogen signifikant forskel mellem de to forsøg. Stammens hældning i de plantede typer lå indenfor samme niveau som referencerne, hvor selvforyngede bøg havde en hældning på 14 grader og såede bøg en hældning på 5 grader. Det blev undersøgt om graden af basalsvaj udviste nogen korrelation med andre parametre, men der var absolut ingen antydninger af sammenhæng med hverken plantens højde ved udplantning, rodantal, rod-symmetri eller roddeformationer.



Figur 12. Roddeformationer i 7 forskellige plantetyper af bøg i 3 kulturer. A) rodknæ på 90° eller større og B) rodsnøre på 90° eller mere. Supplerende forklaring se figur 5.

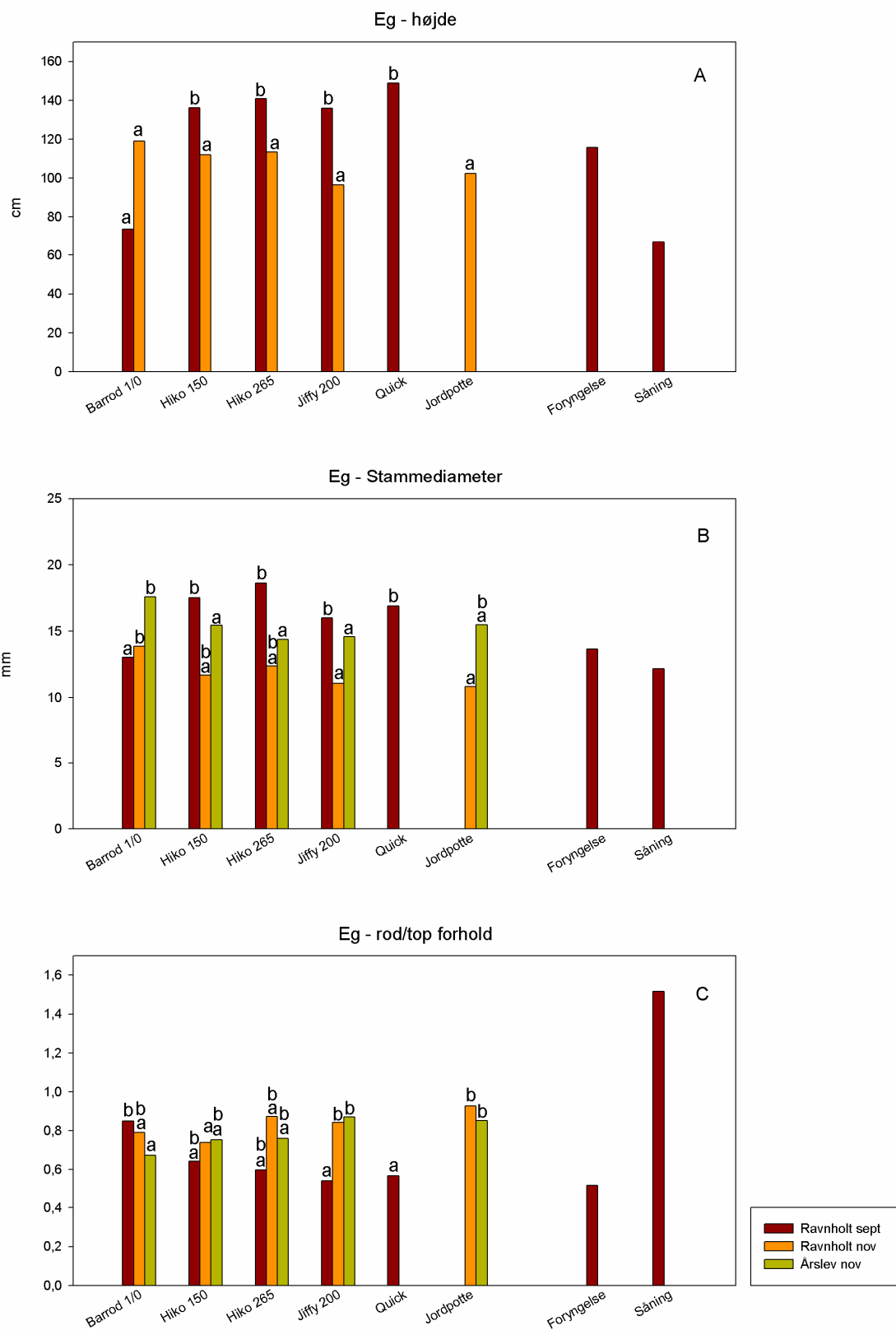
## 4.2 Eg

### 4.2.1 Højde, stammediameter, roddybde og rod/top forhold

Den gennemsnitlige højde af planterne var på henholdsvis 127 og 108 cm i september og november plantningen, men forskellen var ikke signifikant (Figur 13a). I analysen af hvert forsøg for sig kunne der heller ikke påvises en effekt af plantetype i november udplantningen, men ved september plantningen var højden af 1-årige barrodsplanter på 74 cm signifikant mindre. Forskellen i størrelse mellem de to plantninger var til gengæld signifikant for stammediameteren, med henholdsvis 15,5 og 12,0 mm for september og november plantningen på Ravnholt (Figur 13b). Der var kun ringe forskel mellem pottetyperne, dog kunne der registreres at etårige barrodsplanter havde signifikant mindre stammediameter end alle øvrige pottetyper ved september udplantningen. Der var også kun mindre forskelle i stammediameter på planterne fra Årslev (14,4 – 17,6 mm). Selvforyngede eg i hegned areal fra Gunderslevholm var 116 cm høje, mens ensalderende eg med vildtpåvirkning fra Wedellsborg gennemsnitligt var 67 cm høje. Forskellen var knapt så markant i stammediameteren, med henholdsvis 13,6 og 11,7 mm for Gunderslevholm og Wedellsborg.

Der kunne ikke spores nogen effekt af pottetyper på roddybden, men til gengæld var roddybden signifikant større ved november plantningen på Ravnholt (28,7 cm) sammenlignet med september plantning (25,4 cm). Roddybden i de selvforyngede eg på Gunderslevholm var på niveau med dækrødsforsøget (30 cm), mens de såede eg i Wedellsborg havde en roddybde på gennemsnitligt 47 cm.

Det gennemsnitlige rod/top forhold for samtlige pottetyper var på 0,79 og 0,67 i henholdsvis november og september plantningen, men forskellen var ikke signifikant. Der var heller ingen signifikante forskelle i denne størrelse mellem pottetyperne i analysen med begge plantetidspunkter inkluderet. I september plantningen havde Jiffy og Quick dog et signifikant lavere rod/top forhold end barrodsplanterne, og Jordpotten havde et sikkert større rod/top forhold end Hiko 150 i november plantningen (Figur 13c). Eg på markjord havde et rod/top forhold på samme niveau som på de to andre lokaliteter. Her var der små forskelle, med 1-årige barrodsplanter (0,67) signifikant mindre end Jiffy200 (0,87) og Jordpote (0,85). Til sammenligning var dette forhold på 0,52 i de naturligt foryngede egetræer i skovmiljø og indhegning, mens det var 1,52 i de såede egeplanter fra Wedellsborg, der var udsat for vildtbid i åbent eksponeret område.



Figur 13. Højde, stammediameter og rod/top forhold i 7 forskellige plantetyper i 3 forskellige kulturer af eg. Forklaring se figur 5.

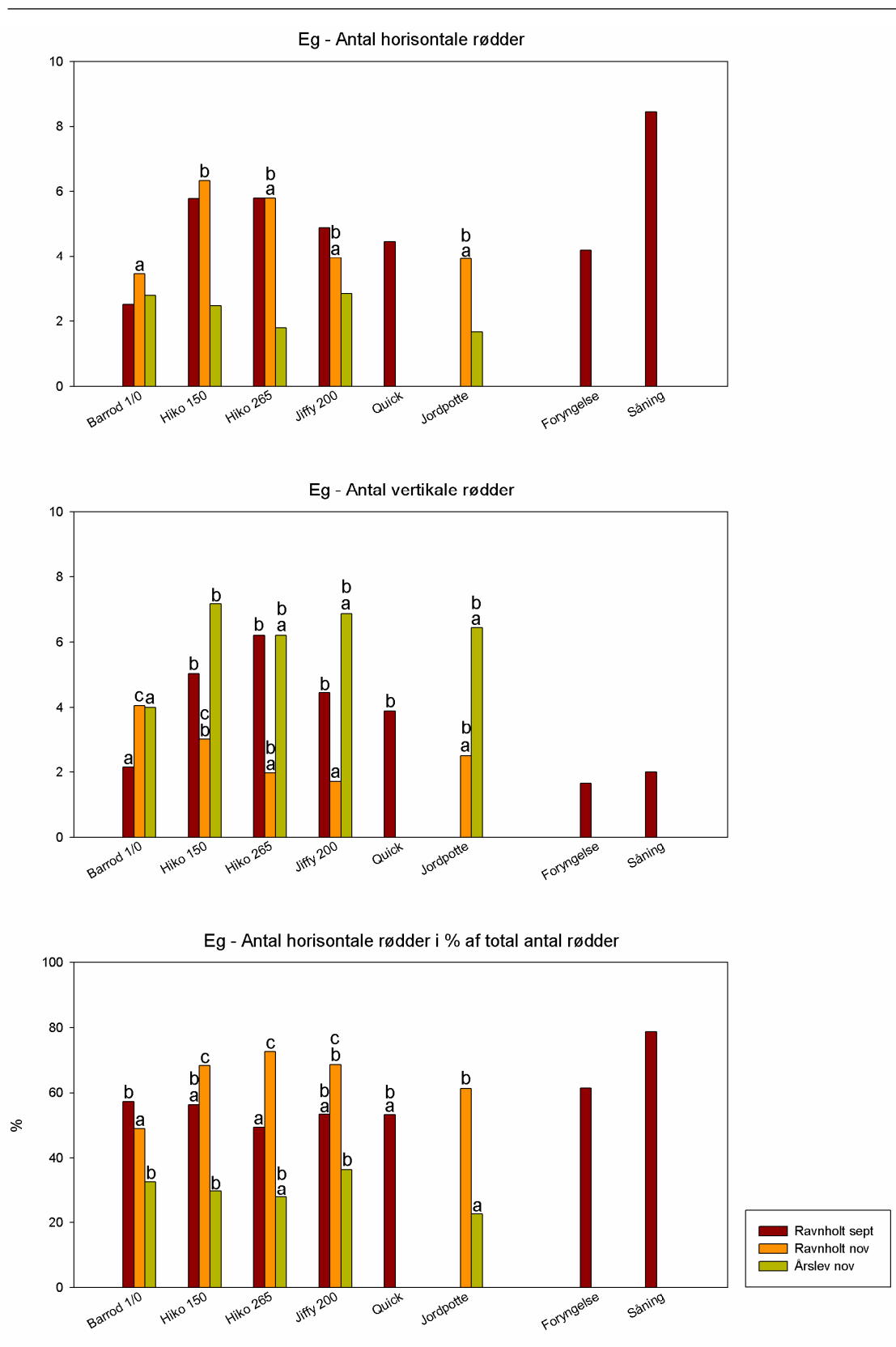
#### 4.2.2 Rodantal

Antallet af horisontale rødder med en diameter større end 2 mm var generelt lidt lavere i eg end hos bøg, og der var større variation mellem pottetyperne (Figur 14a). Der var ingen forskel i antal mellem de to udplantningstidspunkter på Ravnholt, men der var nogen forskel mellem pottetyperne. Mest tydeligt var at 1-årige barrødsplanter havde et lavere antal, hvilket pga. af den store spredning kun var signifikant i forhold til Hiko150. Antallet af horisontale rødder var markant lavere på markjord i Årslev, men forskellene mellem de enkelte pottetyper var heller ikke her signifikante pga. den store spredning i værdierne indenfor pottetyperne. Eg i foryngelse og såning havde henholdsvis 4,2 og 8,5 horisontale rødder pr. plante.

Antallet af vertikale rødder var noget forskelligt for de 3 lokaliteter (Figur 14b). I september udplantningen på Ravnholt var det igen de 1-årige barrødsplanter, der havde det laveste antal (2,1) i forhold til alle øvrige plantetyper (3,9 – 6,2). Ved november plantningen var forholdet lige omvendt. Her var det 1-årige barrødsplanter der havde det største antal (4,1), mens Jiffy200 havde det mindste antal (1,7). Det mest iøjefaldende var dog, at der var mange vertikale rødder på markjorden på Årslev (4,0 – 7,2). Antallet af vertikale rødder i selvforryngede og såede eg var lavt med henholdsvis 1,7 og 2,0 rod pr. plante.

På trods af en del forskelle mellem pottetyperne i antallet af horisontale og vertikale rødder i Ravnholt, var der ikke de store udsving mellem pottetyperne i fordelingen mellem de to grupper af rødder (Figur 14c). På samme måde som for bøg vedkommende var de horisontale rødder relativt mere talrige ved november plantningen - 64 % i forhold til september plantningen 51 %. Forskellen var dog ikke signifikant. De horisontale rødder udgjorde kun mellem 23 og 36 % af alle rødder i eg fra Årslev, og her var der ingen signifikante forskelle mellem plantetyperne. I de selvforryngede og såede eg var henholdsvis 61 og 79 % af rødderne horisontale.

Pælerod var mere udpræget i egene i forhold til bøgene. Således var der gennemsnitligt 1,1 – 1,7 pælerod pr. plante i de forskellige pottetyper. I en analyse af pælerøddernes relative antal var der ingen effekt af plantetidspunkt, og der var kun en begrænset effekt af pottetype.



Figur 14. Antal horisontale rødder (A), vertikale rødder (B) og antal horisontale rødder i procent af det totale antal rødder pr. plante (C) i eg. Forklaring se figur 5.



### 4.2.3 Rodtværnsnitsareal

De horisontale rødders tværnsnitsareal rCSA var i samme størrelsesorden ved de 3 udplantninger (25 – 70 mm<sup>2</sup>). Der var mindre forskelle mellem plantetyperne indenfor hver udplantning, men det var kun rødderne hos 1-årige barrodsplanter der var signifikant mindre ved september udplantningen på Ravnholt (Figur 15a). Selvforyngede og såede eg var på sammenligneligt niveau med rCSA på 36 og 80 mm<sup>2</sup>.

De vertikale rødders tværnsnitsareal rCSA var på mellem 29 – 78 mm<sup>2</sup> ved de to udplantninger på Ravnholt (Figur 15b), og der var kun mindre forskelle imellem plantetyperne. Tværnsnitsarealet af vertikale rødder var langt højere i egne på markjord (229 – 370 mm<sup>2</sup>). Her var Hiko265 signifikant lavere end 1-årige barrodsplanter. Selvforyngede og såede egeplanter havde vertikale rødder med rodtværnsnitsareal på 92 og 102 mm<sup>2</sup>.

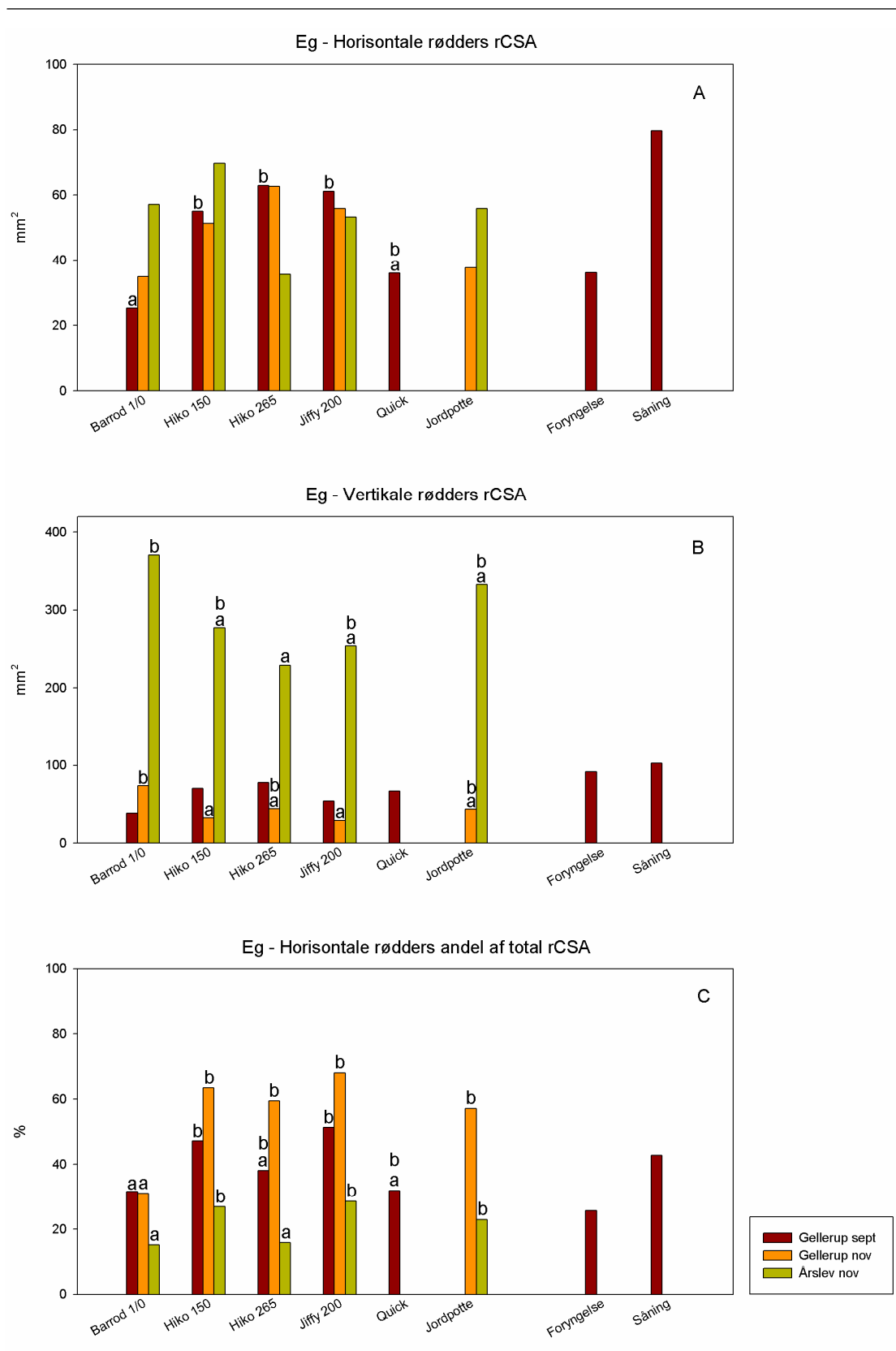
De horisontale rødders relative rodtværnsnitsareal varierede en del mellem pottetyper og lokaliteter (Figur 15c). I september udplantningen på Ravnholt var denne fraktion på mellem 32 og 51 %, med 1-årige barrodsplanter som signifikant lavest. I november udplantningen var de horisontale rødders tværnsnitsareal relativt noget højere og igen var det 1-årige barrodsplanter, der havde den laveste værdi. På markjorden i Årslev var de horisontale rødders andel af den samlede rCSA lav (15 – 29 %), og her var 1-årige barrodsplanter og Hiko265 signifikant lavere. I selvforyngede og såede eg var denne parameter henholdsvis 27 og 43 %.

Pælerøddernes størrelse målt som rCSA var ikke signifikant forskellige ved september udplantningen på Ravnholt (20 – 37 mm<sup>2</sup>) (Figur 16a). I modsætning til dette havde pælerødderne i Hiko150 og Jiffy200 et signifikant lavere tværnsnitsareal end 1-årige barrodsplanter og Hiko265 i november udplantningen. Selvforyngede og såede eg havde pælerødder med rCSA på 84 og 70 mm<sup>2</sup>. Tværnsnitsarealet af pælerødderne var relativt højere i barrodsplanter og selvforyngede planter (Figur 16b).

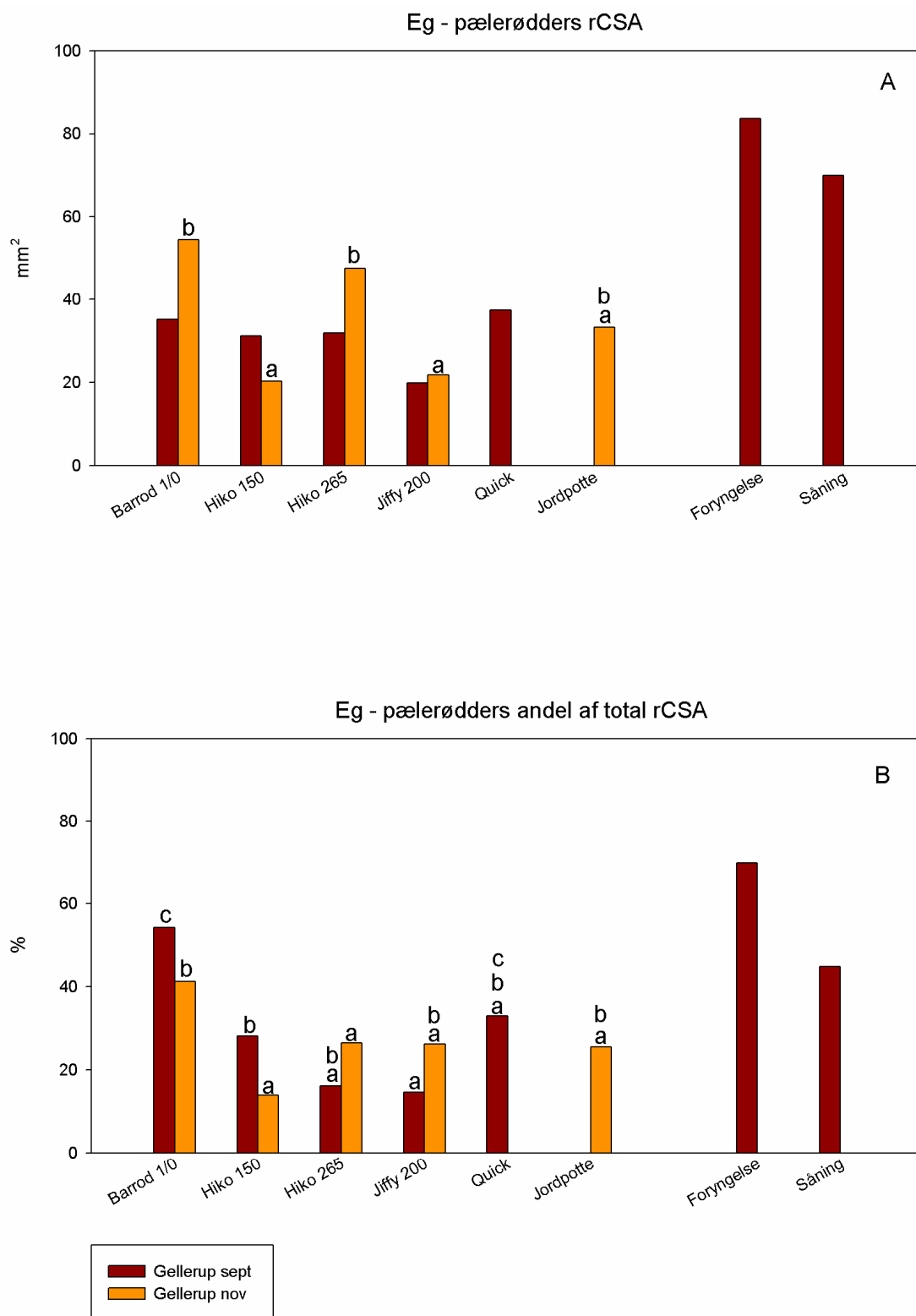
### 4.2.4 Rodsymmetri

SYMMAX i selvforyngede og såede eg var på henholdsvis 70 og 64 % (Figur 17a), og denne parameter lå på samme niveau eller lavere for de plantede eg (47 – 70 %). De 1-årige barrodsplanter fra september udplantningen i Ravnholt havde en SYMMAX på 70 %, som var signifikant højere end Hiko150, Hiko265 og Jiffy200. Til gengæld var der ingen signifikante forskelle ved november udplantningen. På markjorden var det også Hiko150 der var lavest med 47 %, mens Jiffy200 og Quick her var signifikant højere med 60 og 61 %.

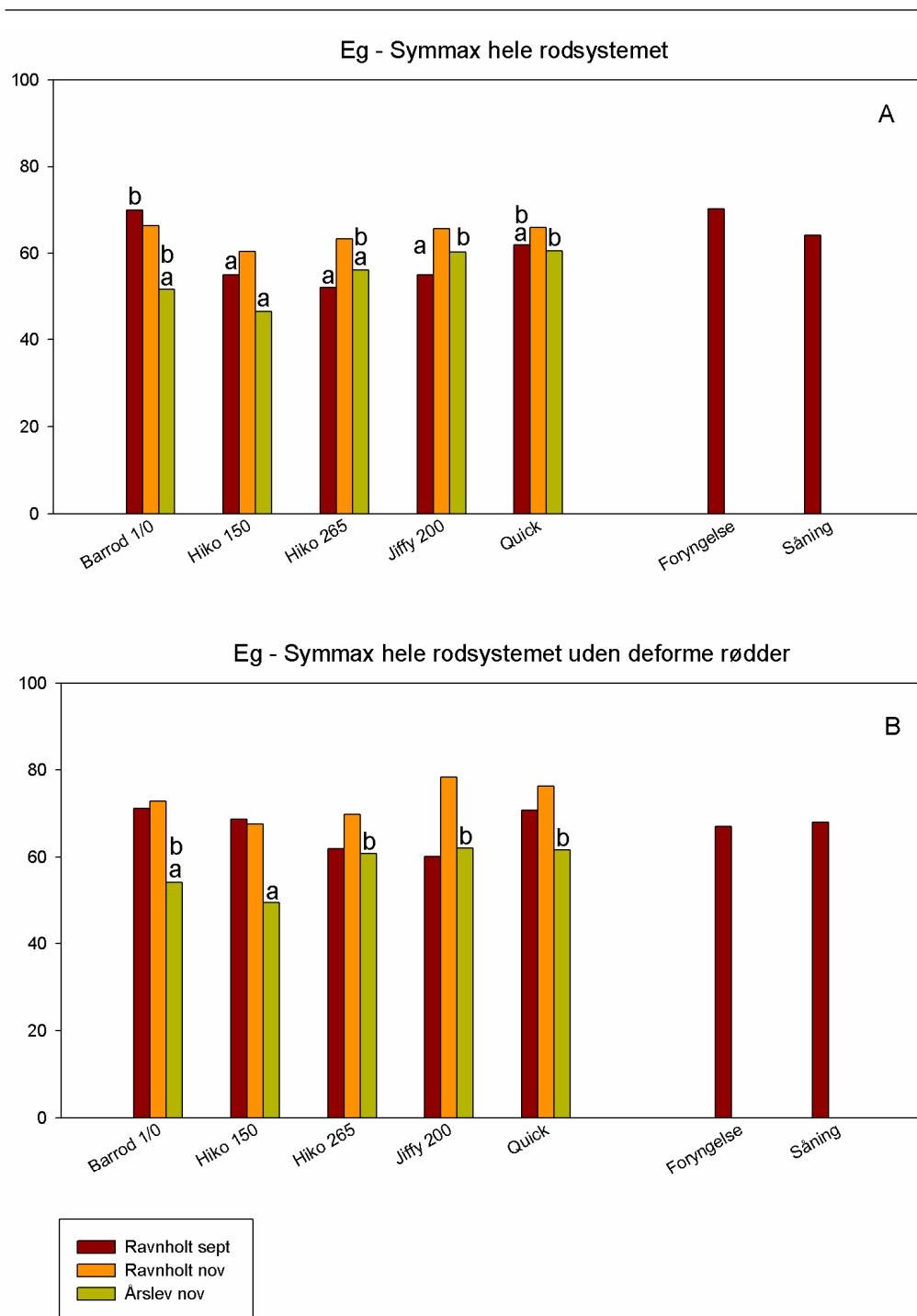
Når rødderne med roddeformationer blev taget ud af beregningen var SYMMAX generelt lidt højere (Figur 17b). Her var der til gengæld ingen signifikante forskelle mellem pottetyperne på Ravnholt. På markjorden var forholdet mellem pottetyperne det samme, som når de deformerede rødder var med i beregningen. De selvforyngede og såede eg havde SYMMAX på samme niveau hvad enten beregningen blev lavet med og uden deformerede rødder.



Figur 15. Rodtværnsareal af horisontale rødder (A), rodtværnsareal af vertikale rødder (B) og de horisontale rødders andel af plantens samlede rodtværnsareal (C) i eg. Forklaring se figur 5.



Figur 16. Pælerødders rodtværsnitsareal (A) og pælerødders andel af det totale rodtværsnitsareal i eg. Forklaring se figur 5.



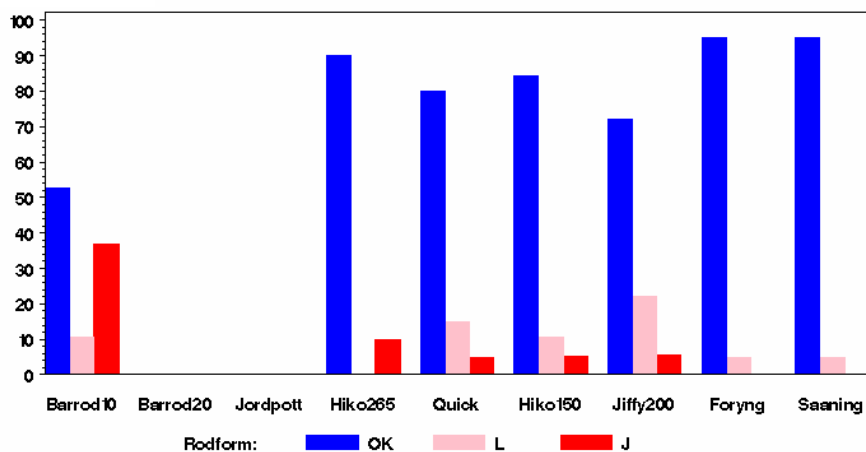
Figur 17. Symmetri (SYMMAX) af hele rodsystemet (A) og SYMMAX af hele rodsystemet uden rødder med roddeformationer (B) i eg. Forklaring se figur 6.

#### 4.2.5 Roddeformationer

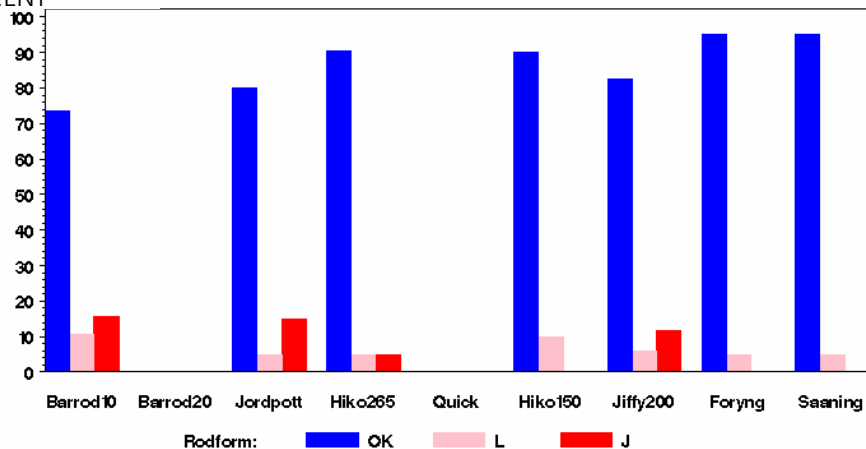
I selvforyngede og såede eg var forekomsten af deformationer af hovedroden sjældne, således havde kun 5 % af planterne moderat skæv hovedrod ved begge plantetidspunkter (Figur 18). For dækrodsplanter på Ravnholt var skæve hovedrødder mere udbredt med mellem 10 og 28 % deforme hovedrødder, hvoraf en stor del var udpræget deforme. Etårige barrodsplanter skilte sig endvidere ud ved at have skæve hovedrødder på op til 47 % af planterne, og af disse var langt de fleste ekstra deforme. Der var tendens til større frekvens af deforme hovedrødder ved september plantningen for de fleste plantetyper.

Rodknæ forekom i alle plantetyper, men i varierende grad (Figur 19). I de selvforyngede eg havde 13 % af rødderne 90° rodknæ og denne fraktion var helt nede på 5 % i såede eg. I planterne på markjord var frekvensen af rodknæ også lavt. Her havde mellem 7 og 14 % af rødderne rodknæ på 90°, med 1-årige barrodsplanter og Jordpotte med signifikant flest rodknæ. På Ravnholt var forekomsterne af rodknæ langt mere udbredt (19 – 55 %). Her var der en tendens til flere rodknæ ved september udplantningen, og det mest markante var her at 1-årige barrodsplanter havde klart færre rodknæ.

PROCENT



PROCENT

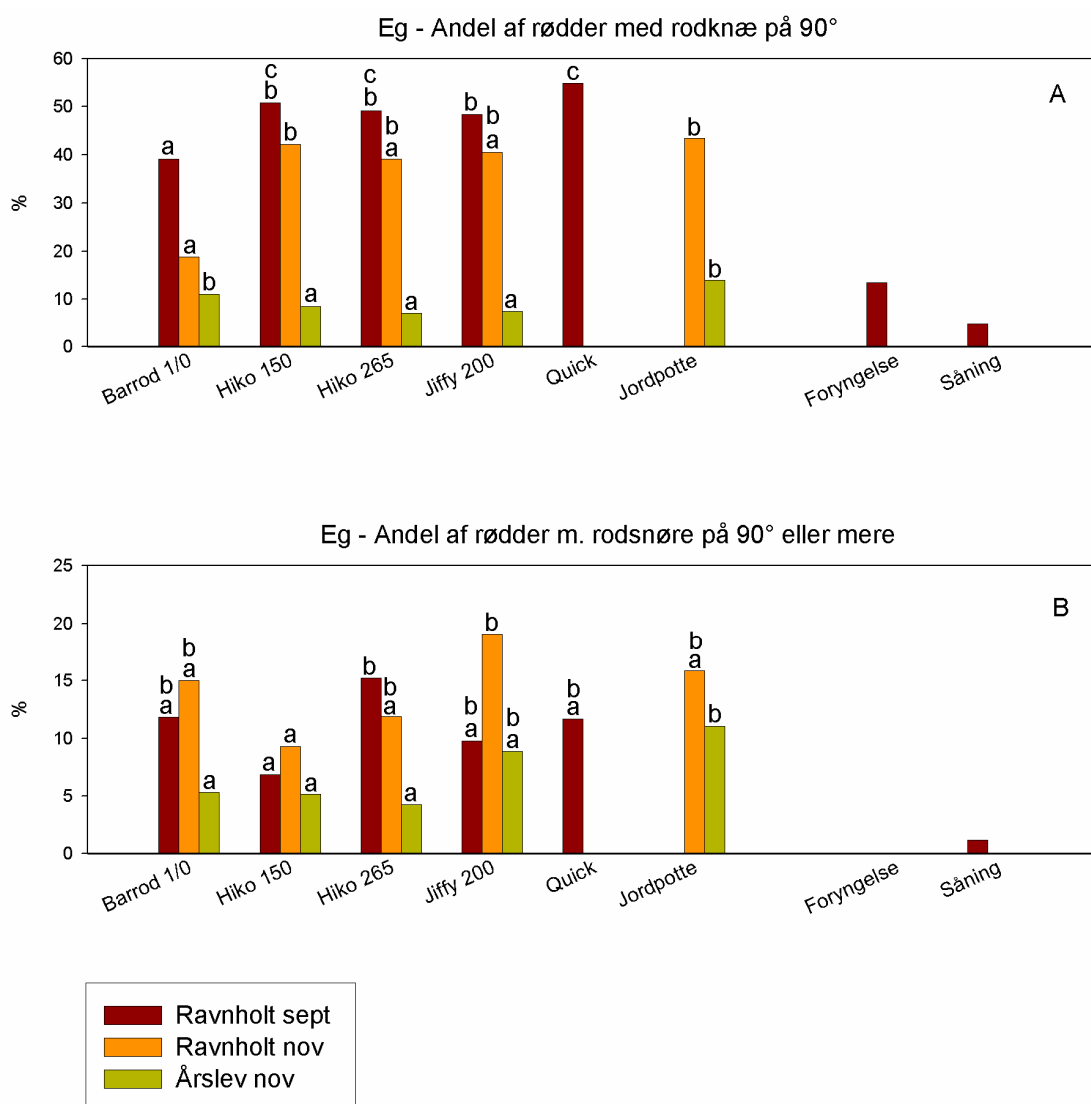


Figur 18. Hovedrodens form i 7 plantetyper af eg på to plantetidspunkter A) september og B) november. Skaderne er opdelt i 3 kategorier: OK = roden er lodret, L = roden er L-formet og J = roden er J-formet.

Rodsnøre var stort set fraværende i de selvforyngede og såede eg, mens alle plantede eg havde rodsnøre i nogen grad (4 – 19 %) (Figur 19b). Der var færrest rodsnøre i planter fra Årslev, og her var det 1-årige barrødder, Hiko150 og Hiko265 der havde færrest rødder med rodsknæ. Der var en del variation i frekvensen af rodsknæ indenfor de enkelte pottetyper på Ravnholt, men der var færrest rodsknæ i Hiko150 (7 og 9 %) ved begge plantninger, og en relativ høj frekvens af rodsknæ i Jiffy200 ved november plantningen (19 %).

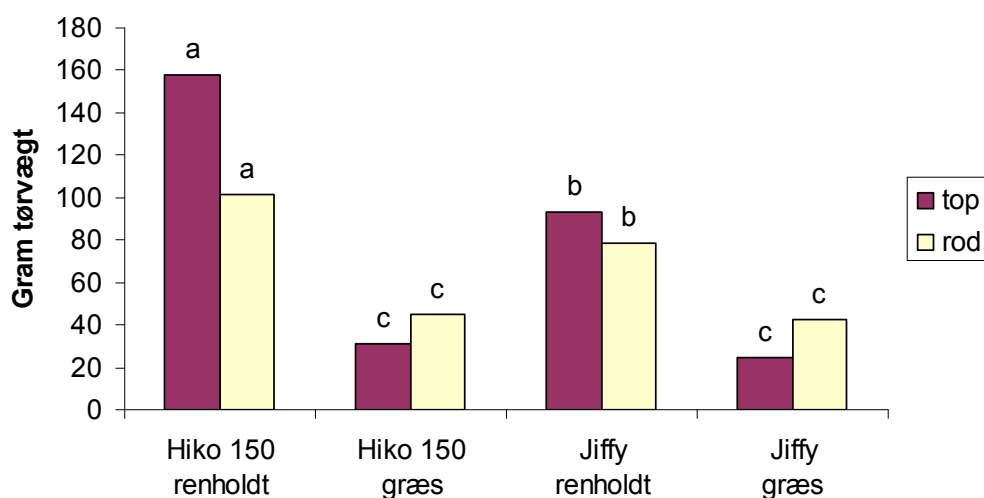
#### 4.2.6 Basalsvaj

Der var ingen effekt af pottetypen på graden af basalsvaj i eg. Til gengæld var der en lille, men signifikant forskel mellem de to plantetidspunkter, hvor graden af hældning var størst ved september udplantningen (8,5) i forhold til november udplantningen (6,5). På samme måde som hos bøg udviste de fleste af de målte parametre ikke nogen sammenhæng med basalsvajet. Eneste undtagelse var at eg fra november udplantningen udviste en svag positiv korrelation (0,26) mellem graden af hovedrodens afvigelse fra lodret og basalsvajet.



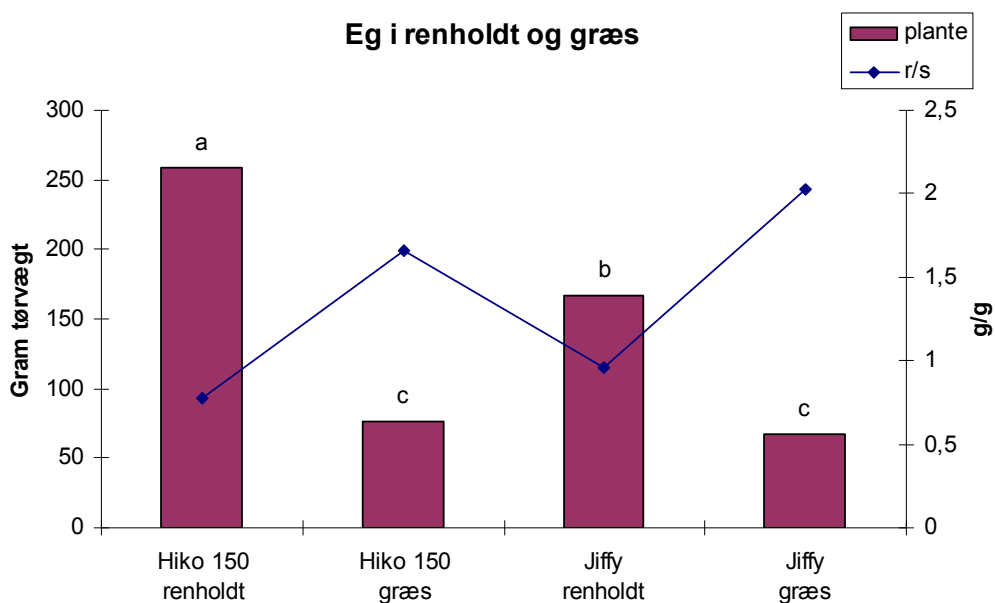
Figur 19. Roddeformationer i 7 forskellige plantetyper af eg i 3 kulturer. A) rodsknæ 90° eller større og B) rodsknæ på 90° eller mere. Supplerende forklaring se figur 5.

### Eg i renholdt og græs

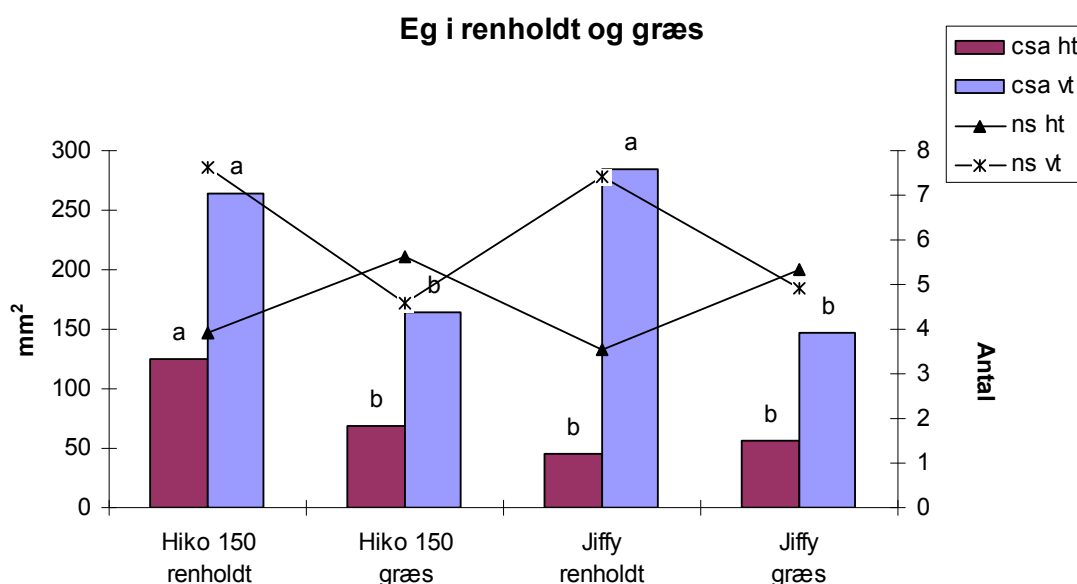


Figur 20. Tørvægt af top og rod hos eg i renholdt og ved konkurrence fra græs i markforsøg i Årlev efter opformering i Hiko 150 eller Jiffy 200. Bogstaver angiver signifikante forskelle mellem systemerne.

### Eg i renholdt og græs



Figur 21. Tørvægt af hele planten og rod/top forhold hos eg i renholdt og ved konkurrence fra græs i markforsøg i Årlev efter opformering i Hiko 150 eller Jiffy 200. Bogstaver angiver signifikante forskelle mellem systemerne.



Figur 22. Antal vertikale (vt) og horisontale (ht) rødder, samt rodtværsnitsareal af samme, hos eg i renholdt og ved konkurrence fra græs i markforsøg i Årslev efter opformering i Hiko 150 eller Jiffy 200. Bogstaver angiver signifikante forskelle mellem systemerne. Antal horisontale rødder er ikke signifikant forskellige mellem de to systemer

### 4.3 Ukrudts betydning for rodudviklingen

Effekten af konkurrence fra ukrudt blev undersøgt for eg udplantet i pottetyperne Hiko150 og Jiffy i henholdsvis græs og renholdt. Resultaterne viste, at væksten blev stærkt reduceret i konkurrence med græs, hvor både top og rodvækst blev mere end halveret i konkurrencen med græs i begge pottesystemer (Figur 20). Effekten af græs var størst i Hiko150, hvor væksten uden konkurrence fra græs var signifikant større end i Jiffy (Figur 21). I konkurrence med græs var der ikke signifikant forskel mellem de to systemer. Antallet af vertikale rødder var signifikant større i renholdt for begge systemer i forhold til i konkurrence fra græs. Derimod var antallet af horisontale rødder signifikant større i konkurrence fra græs end i renholdt i begge systemer, men rødderne var signifikant mindre målt som rodtværsnitsareal (rCSA) (Figur 22).

### 4.4 Pottestørrelsens effekt på rodudvikling.

Planterne der var udvalgt til denne del af projektet havde kun haft 2 vækstsæsoner efter udplantning. Det viste sig, at planterne var for små til en optimal måling af de fleste rodparametre. Her præsenteres enkelte af de målte parametre.

Antallet af rødder var lavt og der var stor spredning mellem planterne. Det gennemsnitlige antal **horisontale rødder** lå mellem 2,3 og 4,1 for barrodsplanter, Jiffy200 og Jiffy100, dog uden signifikante forskelle (Figur 23). Til



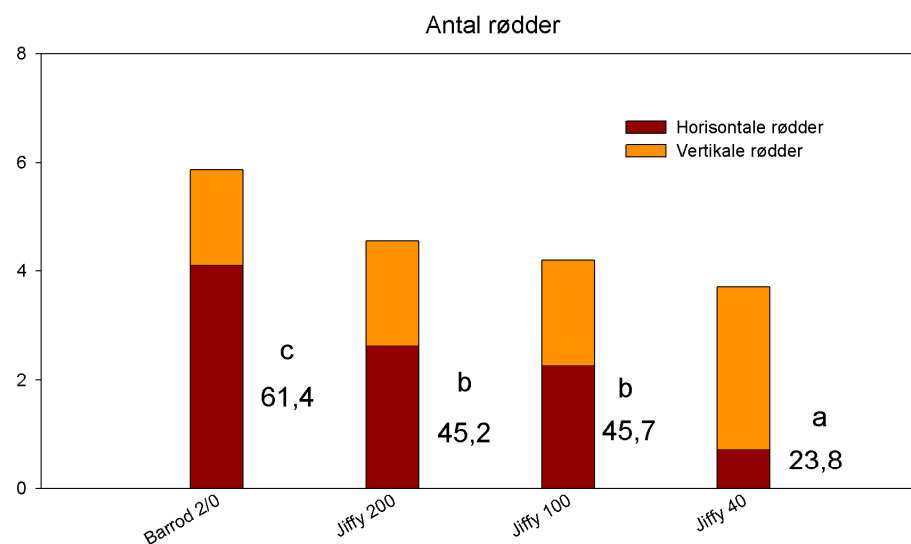
gengæld var antallet klart lavere i den mindste Jiffy40 med gennemsnitligt 0,7. For de **vertikale rødder** var forholdet det omvendte, om end forskellene ikke var signifikante. Her havde barrodsplanterne, Jiffy100 og Jiffy200 gennemsnitligt 1,8 – 1,9 vertikal rod pr. plante, mens Jiffy40 havde 3,0. Denne fordeling af horisontale og vertikale rødder havde selvfølgelig en stor indflydelse på den **relative andel af horisontale rødder**. Således udgjorde horisontale rødder 61 % i barrodsplanterne, mens denne andel var nede på 45 % i Jiffy200 og Jiffy100, og helt nede på 24 % i Jiffy40.

Det lave antal rødder får selvfølgelig en stor indflydelse på rodsymmetrien, da det alt andet lige er svært at fordele få rødder jævnt. SYMMAX når alle rødder var med lå mellem 60 og 76, og her var der ingen signifikante forskelle mellem plantetyperne (Figur 24). Når rødder med deformationer blev fjernet før beregningen var SYMMAX en del højere. I de 3 Jiffy typer var denne parameter mellem 68 og 76, mens den var helt oppe på 89 i barrodsplanterne. Det var kun forskellen mellem barrodsplanterne og Jiffy100 der var sikker.

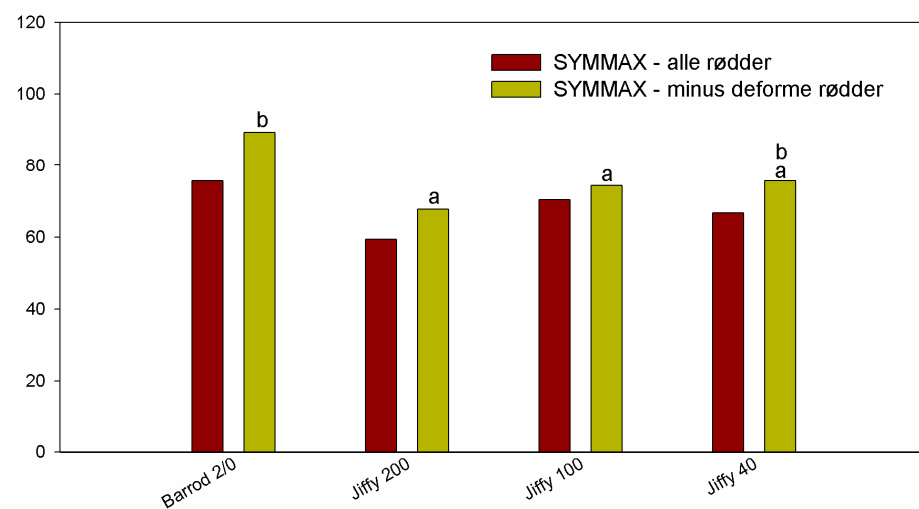
Plantetypen havde afgørende indflydelse på **hovedrodens form**. I barrodsplanterne var omkring 35 % af planterne med deformeret hovedrod, og heraf var en meget stor del stærkt deformerede (Figur 25). Således kunne alle skadede rodsystemer på Skjoldenæsholm henregnes til denne gruppe, mens det kun var omkring 10 % i plantematerialet fra Havredal Plantage. Deforme rødder var stort set fraværende i dækrodsplanterne, og det var kun på Havredal Plantage at der var omkring 10 % skæve hovedrødder i den største Jiffy pottetype.

Forekomsten af rodknæ var også ret udbredt i disse to kulturer (Figur 26a). Barrodsplanterne havde igen en høj frekvens med hele 53 % af rødderne med rodknæ. Dette gjaldt også for Jiffy40, som var signifikant større end de to store Jiffy typer med henholdsvis 30 og 34 % i Jiffy200 og Jiffy100.

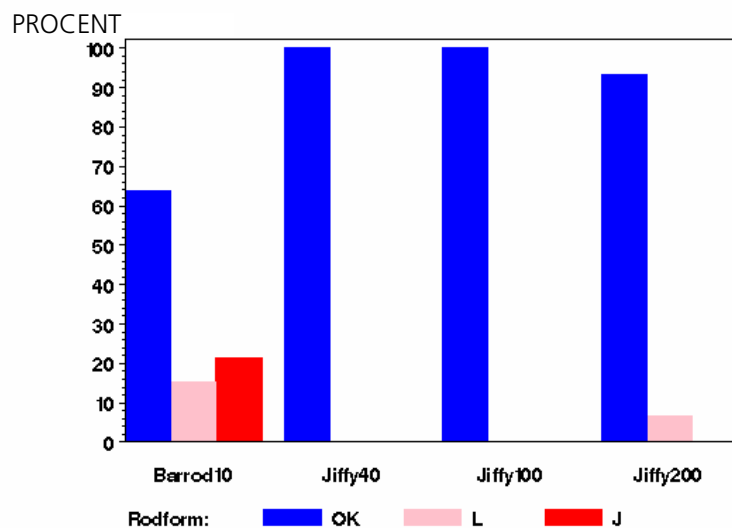
Tilstedeværelsen af rodsnøre udviste stort set det samme forhold mellem pottetyperne (Figur 26b). I barrodsplanterne var 34 % af rødderne med rodsnøre, Jiffy40 havde 15 %, mens forekomsten af rodsnøre var nede på 5 og 6 % i Jiffy100 og Jiffy200.



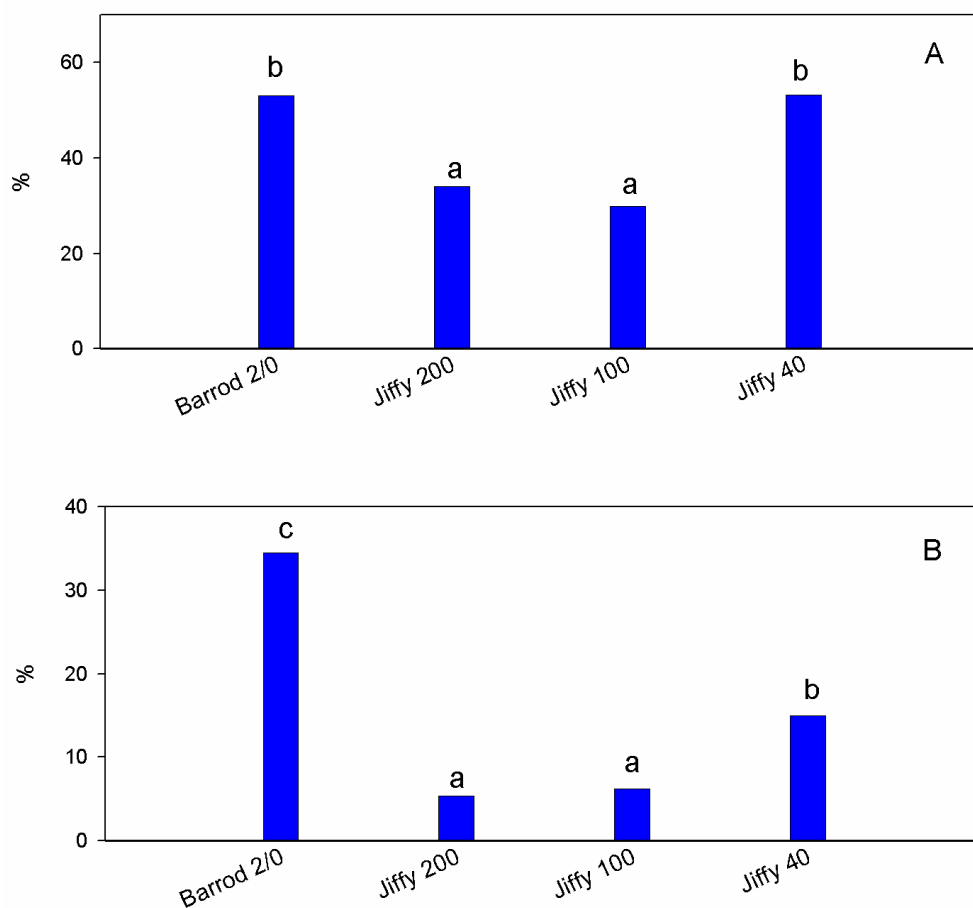
Figur 23. Effekten af containerstørrelse på antallet af horisontale og vertikale rødder i bøg fra Skjoldenæsholm og Havredal Plantage. De horisontale rødders andel af samlet antal rødder er vist som procent med angivelse af signifikans for forskellighed.



Figur 24. Effekten af containerstørrelse på rodsymmetri (SYMMAX) på bøgeplanter fra Skjoldenæsholm og Havredal Plantage. SYMMAX beregnet med og uden rødder med roddeformationer. Signifikans for forskellighed angivet med bogstaver.



Figur 25. Hovedrodens form i bøgeplanter fra Skjoldnæsholm og Havredal Plantage. Skaderne er opdelt i 3 kategorier: OK = roden er lodret, L = roden er L-formet og J = roden er J-formet



Figur 26. Roddeformationer i bøgeplanter fra Skjoldnæsholm og Havredal Plantage. A) rodknæ på 90° eller større og B) rodsnøre på 90° eller mere. Signifikans for forskellighed angivet med bogstaver.

## 5 Vurdering af resultaterne

### *Generel vækst af planterne*

Sammenfattende for bøg og eg havde plantetypen generelt ikke nogen stor indflydelse på planternes størrelse, bortset fra at 1-årige barrodsplanter i de fleste udplantninger var noget mindre end de øvrige plantetyper. De 1-årige dækrodsplanter har således den samme vækst som 2-årige barrodsplanter. En enkelt undtagelse er bøg i Jiffy200 i Årslev, som havde en markant mindre vækst end de øvrige plantetyper. Dette resultat skal dog tolkes med forsigtighed, fordi det samme plantemateriale i Jiffy200 var fuldt på højde med de øvrige typer i skovkultur.

Der var til gengæld nogen forskel i væksten mellem de forskellige lokaliteter. Som nævnt i metodeafsnittet er det ikke muligt at tilskrive dette som effekten fra en enkelt faktor, idet der udover lokaliteten er en række forskelle mellem udplantningerne, primært forskel i proveniens. Der var dog en klar tendens til at bøg havde en bedre vækst på markjord i Årslev end i skoven ved Gellerup. Årsagen er formentlig at der er en langt bedre næringsstofforsyning i markjorden, at der ikke var konkurrence med ukrudt, og det forhold at jorden var mere gennemarbejdet. Det gav sig også udslag i at planter på markjord havde en relativt større rodvækst og dermed også et øget rod/top forhold i forhold til skov.

### *Rodantal og størrelse*

Rodantallet og rodtværnsnitsarealet i bøg var noget påvirket af plantetypen, men dette var mest en effekt af forskelle i planternes størrelse. Således var fordelingen mellem horisontale og vertikale rødder indenfor et niveau, der må formodes ikke at hindre en optimal rodudvikling. Der var dog en tydelig tendens til at bøg på markjord i Årslev havde en kraftigere rodudvikling, og det var specielt de vertikale rødder, der var udviklet.

Det samme var overordnet set gældende for eg. Her var der også en kraftig vækst i de vertikale rødder, som bevirkede at de horisontale rødder kun udgjorde 20 – 30 % af rodbiomassen. Eg har tilsyneladende en god evne til at udnytte at jorden er gennemarbejdet i dybden, og den prioriterer at øge antallet og størrelsen af rødder i vertikal retning.

Plantetypens indflydelse på pælerødderne er mere kompliceret. I nogle tilfælde afskæres pælerodens naturlige udvikling i containerne, og rodens vækst genoptages ikke efter udplantning. I andre tilfælde genoptages væksten, og der kan dannes 1 eller flere nye pælerodslignende rødder ud fra det sted hvor den oprindelige pælerodsspids var. I dette tilfælde kan planten få op til flere funktionelle pælerødder. Som resultaterne viser, var der en noget variabel effekt på pælerodsudviklingen i de to plantetidspunkter for både bøg og eg.

Det er almindelig kendt, at eg har en kraftig pælerod. Det stemmer fint overens med resultaterne her, hvor pælerødderne i eg udgjorde en større andel af den samlede rodmasse end i bøg. For både eg og bøg var der en klar tendens til at plantning reducerede pælerodens antal og størrelse.

I markjorden uden konkurrence fra græs i Årslev allokeredes mere vækst til

vertikale rødder, hvilket formentlig er en effekt af jordbearbejdningen mellem rækkerne, som fremmer rodvækst ned i dybere jordlag og hæmmer rodvækst i horisontal retning. I konkurrence med græs var der en større andel af horisontale rødder i forhold til renholdt.

Når de ret beskedne ændringer i rodantallet tages i betragtning, er der således ikke noget der tyder på, at anvendelse af containere påvirker antallet af strukturelle rødder i et omfang der begrænser stabiliteten

### *Rodsymmetri*

Som for rodantal og rodbiomasse fandt vi ingen afgørende forskelle mellem plantetyperne med hensyn til rodsymmetri. Rødderne var generelt meget ujævnt fordelt rundt om plantens hovedakse. Således var mellem 60 – 75 % af både de horisontale og vertikale rødders biomasse fordelt til en fjerdedel af rodvolumenet. Det samme var gældende for de vertikale rødder. De horisontale og vertikale rødder behøver ikke nødvendigvis at være skævt fordelt på samme måde i samme plante. En vertikal rod kan f.eks. bidrage til stabiliteten i en kvadrant, hvor der er ikke er nogen horisontale rødder. Vi har beregnet rodsymmetrien ud fra det samlede bidrag fra horisontale og vertikale rødder, og herved fremkommer der et lidt bedre mål for symmetrien med SYMMAX på omkring 55 %.

Den ringe rodsymmetri vi finder stemmer godt overens med andre undersøgelser, hvor det er demonstreret, at rodsymmetrien er ringe i helt unge træer og bedres med træets alder (Lindström og Rune, 1999; Nielsen og Hansen, 2000). Der var en tendens til at rodsymmetrien var bedre i de horisontale rødder i forhold til de vertikale rødder. Det er hensigtsmæssigt fordi de horisontale rødder er vigtige for en god fordeling af plantens evne til at modstå vindpåvirkning. Selv om rodsymmetrien i de plantede kulturer så ud til at være dårlig, var den ikke ringere end den vi målte i de såede og selvforvandede kulturer. Det ser altså ud som om, at det er en ungdomsbetinget asymmetri.

Rødder med rodknæ og rodsnøre kan selvfølgelig ikke bidrage med den samme stabilitet til træet. Dette er helt tydeligt med rødder der er snoet rundt om hovedrodens akse (Roswall og Tore, 1998). For at vurdere roddeformationernes betydning for rodsymmetrien blev beregningen også foretaget, hvor alle rødder med roddeformationer var fjernet. Dette forringede rodsymmetrien med en øgning i SYMMAX på gennemsnitligt 5 -10 %. Selv om det ikke var signifikant, var der en tendens til at de 2-årige barrodsplanter med den beregning fik en større asymmetri end de øvrige plantetyper. Når SYMMAX i forvejen ligger på 75 % er det kritisk at den øges til 85 %.

### *Rodform*

Der var en klar effekt af plantetypen på hovedrodens form. Her var det tydeligt, at barrodsplanterne gav ophav til en dårlig form af hovedroden. Der var også en tendens til at potter med faste sider som Hiko265 og Quick havde disse skader, dog i mindre grad. Alle andre plantetyper var stort set fri for disse skader. Denne skade opstår efter al sandsynlighed ved plantningen, og frekvensen af deformeret rodform vil derfor i høj grad variere

med plantningens udførelse. Faktorer som rodskæring, jordbearbejdning og plantningsudstyr vil derfor have en stor indflydelse på forekomsten af skæv rodform.

#### *Roddeformationer*

Resultaterne viser, at roddeformationer findes i alle unge træer, både plantede, såede og naturligt foryngede, men de er langt sjældnere forekommende i planter der er spiret frem på voksestedet. For bøg gjaldt at, der var flere roddeformationer i potter med faste sider (Hiko og Quick) i forhold til Jiffy, og der var yderligere en tendens til at potter med faste sider Hiko265 havde flere roddeformationer end potter med sideslidser. Mest markant var de 2-årige barrodsplanters mange roddeformationer, mens de 1-årige barrodsplanter havde roddeformationer på niveau med dækrodsplanterne. Det kunne tyde på, at der var en sammenhæng mellem plantestørrelsen og antallet af roddeformationer. Sideslidsernes begrænsende effekt på antallet af roddeformationer er demonstreret langt tydeligere for skovfyr (Rune 2003).

Eg reagerede noget anderledes, her var der kun en ringe effekt af plantetype på frekvensen af rodknæ mens forekomsten af rodsnøre varierede mellem plantetyperne, og der var et forskelligt mønster mellem de 3 udplantninger. Meget markant var det dog, at der var meget færre roddeformationer i eg udplantet på mark i forhold til skovkulturene. Det var især gældende for forekomsten af rodknæ. Sammenhængen kan skyldes plantningsmetoden, hvor skrippeplantning af store planter uden afkortning af rødderne vil bevirke roddeformationer i forhold til ved plantning af mindre planter. I nærværende projekt blev plantningen i skoven udført med spade, og på markjorden i Årslev ved håndkraft efter oprulningsmaskine. Resultaterne peger derfor på, at plantningsmetoden og forbehandling også kan have en stor indvirkning på antallet af roddeformationer.

Beregningen af rodsymmetri uden rødder med rodknæ eller rodsnøre viste, at der var en noget ringere symmetri, når der var roddeformationer til stede. Derudover er der en generel svækkelse af rodsystemets trækstyrke som er proportional med frekvensen af roddeformationer, idet disse rødder ikke kan forventes at bidrage med fuld styrke til rodsystemets trækstyrke.

#### *Basalsvaj*

Basalsvaj var ikke noget stort problem i de undersøgte kulturer. Det var kun en mindre del af planterne der havde dette problem, og det var som oftest kun i de nederste 20 cm af stammen at svajet kunne registreres. Der var ingen effekt af plantetype og det gennemsnitlige basalsvaj var ikke højere i plantede kulturer end i de selvforyngede og såede kulturer. Forsøgene her antyder derfor at basalsvaj ikke udgør noget større problem i plantede bøge og egekulturer. Dette er i modsætning til erfaringerne fra mange nåletræskulturer (Lindström og Rune, 1999; Warensjö & Rune, 2004).

#### *Betydning af konkurrence fra ukrudt*

Udplantning på mark med græs som konkurrencefaktor bevirkede en kraftig reduktion i væksten af både top og rod. Reduktionen var meget større, end det tidligere er set for barrodsplanter af eg og bøg efter 2 vækstsæsoner i

konkurrence med græs (Andersen, 2001 og 2004). Effekten af konkurrencen fra græs var størst på den overjordiske del af planten, hvilket medførte at forholdet mellem rod og skudtørvægt blev større i konkurrence med græs, hvilket stemmer overens med tidligere resultater fra barrodsplanter. Konkurrencen med græs bevirkede en ændring i rodfordelingen mellem vertikale og horisontale rødder. Således blev mængden af vertikale rødder mindre i græs i forhold til renholdt, og mængden af horisontale rødder øgedes signifikant. Sandsynligvis bevirker konkurrencen fra græs, at der allokteres ressourcer til rødderne for at afsøge jordprofilen for vand og næring udenfor græssets konkurrence. Rødderne blev samtidig tyndere end i renholdt, hvilket viser en form for plasticitet i rodsystemet hos eg. Resultaterne viser, at renholdelse gav en signifikant større plante uanset om de dyrkes i Hiko150 eller Jiffy, hvilket stemmer godt overens med resultaterne fra Jensen & Jakobsen (2006), hvor forudgående jordbehandling havde stor positiv effekt på planternes vækst.

#### *Betydningen af containerens størrelse*

Containerens størrelse havde en afgørende virkning på flere af rodparametrene. Forskelle som primært må tilskrives forskelle i containerens diameter, da højden af containeren varierede relativt lidt mellem de 3 volumener. Vi kan altså forvente at få planter, hvor de vertikale rødder favoriseres på bekostning af de horisontale, når vi anvender containere med lille diameter. Så længe planterne er relativt små, vil det have mindre betydning for stabiliteten. På lidt længere sigt kan planternes/træernes stabilitet forringes af manglende rodudvikling. Det større relative antal roddeformationer i den mindste Jiffy container tyder også på en kraftig hæmning af rodudviklingen. Hermed er udviklingen af rødder til stabilisering af planterne hæmmet i de første år i kulturen. Bøg har en god evne til at forbedre fordelingen af rødder (Nielsen og Hansen, 2000), men om denne tilpasning kan foregå hurtigt nok til at sikre planternes stabilitet er uvist.

#### *Plantetidspunkt*

Vores forsøgsdesign tillader os ikke at lave en klar konklusion vedrørende plantetidspunktets indflydelse på rodsymmetri og roddeformationer. Ud fra dette projekt er der dog ikke noget der tyder på, at der er væsentlig forskel på om, der plantes i september eller november.

## 6 Konklusion

Dette projekt har demonstreret, at dækrodsplanter er fuldt på højde med barrodsplanter når det gælder røddernes udvikling, og dermed træernes stabilitet. Der var ikke de store forskelle mellem de undersøgte dækrodstyper, men på en række punkter var dækrodsplanterne klart bedre end barrodsplanterne. I de følgende trækkes de væsentligste resultater op:

### *Rodsystemets størrelse*

De undersøgte barrods- og dækrodsplanter var ikke afgørende forskellige med hensyn til rodsystemets størrelse målt som antallet af strukturelle rødder og røddernes samlede tværsnitsareal. Undersøgelsen viste samtidig, at barrods- og dækrodsplanter har et lige så stort rodsystem som planter, der etableres ved selvforryngelse og såning. Der er en klar tendens til at plantning reducerer pælerøddernes størrelse og antal.

### *Roddeformationer*

Til gengæld har plantningen en stor effekt på antallet af roddeformationer i form af rodknæ og rodsnøre. Disse fejl kunne registreres på alle de undersøgte plantetyper i både bøg og eg. I såede og selvforryngede planter var forekomsten af rodknæ lav, og problemet med rodsnøre var stort set fraværende. I alle plantede eg og bøg var roddeformationer mere almindeligt forekommende, men det var især 2-årige barrodsplanter, som havde disse skader på rødderne. Rødder med roddeformationer kan ikke medvirke effektivt til at stabilisere træet.

### *Rodsymmetri*

Alle plantetyper havde en skæv fordeling af rødder rundt om hovedaksen med mere end 55 % af de strukturelle rødder fordelt til kun en 1/4 af omkredsen. Dette niveau vurderes dog til ikke at være kritisk, dels fordi unge træer ofte har en ringe rodsymmetri, og dels fordi vi fandt den samme lave rodsymmetri i selvforryngede og såede planter. I 2-årige barrodsplanter var rodsymmetrien dog markant ringe.

### *Skæve hovedrødder*

Der kunne registreres en høj frekvens af planter med L- eller J-formet hovedrod i 2-årige barrodsplanter. Denne skade forventes at have stor betydning for plantens stabilitet i plantens unge år. Skaden af rodens hovedakse opstår sandsynligvis, når rodsystemet er større end det hul, der graves til planten. Dette understreger vigtigheden af, at alle aspekter af plantningen udføres optimalt.

### *Ukrudtstryklets betydning for rodudviklingen*

Ud fra markforsøgene i Årslev kan det konkluderes, at konkurrence fra græs har en stor negativ effekt på planternes vækst. Renholdelse er derfor vigtig i relation til planternes vækst efter udplantning.

### *Dækrodscontainerens størrelse*

På baggrund af sammenligningen af forskellige størrelser af Jiffy containere kan det konkluderes, at der sker en hæmning af de horisontale rødders



udvikling ved anvendelse af små containere. Samtidig var der også en relativ forøgelse af roddeformationer. Denne hæmning af rodudviklingen vil kunne påvirke stabiliteten i træets unge år.

#### *Containernes udformning*

I denne undersøgelse kunne vi ikke konstatere nogen mærkbar forskel i de målte parametre (herunder roddeformationer) mellem containere med faste sider (Hiko265) og containere med sideslidser (Hiko150). Den helt åbne netbaserede container (Jiffy200) udmærkede sig ved at have lidt færre roddeformationer end de øvrige dækrodsplanter.

#### *Behov for yderligere forskning*

Nærværende projekt har bidraget med væsentlig ny viden om rodudviklingen i dækrodsplanter. Det vil dog være af stor værdi, at undersøge en række forhold yderligere:

- Sammenhæng mellem roddeformationer og faktisk ændring i stabiliteten i planterne undersøgt ved trækmålinger
- Undersøgelser af hvor hurtigt planten kan genoprette en tilstrækkelig god rodsymmetri, herunder hvor hurtigt rødder med rodknæ og rodsnøre erstattes af rødder uden deformationer.
- Hvad er den minimale containerstørrelse, der kan anvendes uden at roddeformationer bliver for dominerende. Dette skal undersøges i sammenhæng med længden af produktionstiden i planteskolen.
- Fysiologiske undersøgelser af hvilke faktorer det er, der fremmer og styrer rodudvikling efter udplantning.

## 7 Referencer

*Andersen, L. 2001.*

Survival and Growth of *Fagus sylvatica* Seedlings Root-pruned Prior to Transplanting under Competitive Conditions. Scandinavian Journal of Forest Research. 16 (4), 318 -323.

*Andersen, L. 2004.*

Field performance of *Quercus petraea* seedlings grown under competitive conditions: influence of prior undercutting at the seedbed. New Forests 28, 37-47.

*Andersen, Lillie, 2006.*

Dækrodsplanter – produktion af eg og bøg. Skoven nr. 3, 132-134.

*Ditlevsen, B. 1998.*

Rodsystem og stabilitet- statusrapport for Danmark. Redogørelse nr. 7, 1998, Skogforsk, 23-24.

*Ciccarese, L., Mattsson, A. & Andersen, L. 2005.*

A new technology for production of broad-leaved forest seedlings to promote sustainable management of European forestry. APAT-rapport fra EU-projekt. ([http://www.apat.gov.it/site/\\_contentfiles/00140600/140652\\_R53\\_2005.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_contentfiles/00140600/140652_R53_2005.pdf))

*Coutts, M.P., Nielsen, Christian Nørgaard & Nicoll, B.C., 1999.*

The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. Plant and Soil, 217: 1-15.

*Håkansson, Lars & Lindström, Anders, 2003.*

Inventering av 5-åriga planteringsförsök med olika planttyper av gran i södra Sverige anlagt av Södra Skogsplantor AB. Stencil 24. Högskolan Dalarna.

*Jensen, Jan Svejgaard & Jakobsen, Henrik Skibsted, 2006.*

Undersøgelse af forskellige dækrodssystemer for bøg og eg ved udplantning i skov. Arbejdsrapport nr. 25. Skov & Landskab 2006.

*Lindström, Anders, 1998.*

Rotdeformationer och deras konsekvenser för täckrotsplantors etablering och framtida kvalitetsutveckling. Redogørelse nr. 7, 1998, Skogforsk, 53-62.

*Lindström, Anders & Rune, Göran, 1999.*

Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. Plant and Soil, 217:29-37.

*Neckelmann, J. 1979.*

Dækrodsplanter af nåletræ. Særtryk, nr. 304. 36, 3. Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark. 48 pp.

*Nielsen, Christian Nørgaard, 1995.*

Detailed instructions for root architecture assessment with the ROOTARCH-method. Project TREEARCH, Internal report nr. 7. The Arboretum, The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.

*Nielsen, Christian Nørgaard & Hansen, Jon Kehlet, 2000.*

Functional aspects of root architecture and biomass allocation of six major European forest tree species. Final consolidated scientific report for the EU-project: TREEARCH.

*Nyström, C. 1999.*

Betydelse av plantålder och plantstorlek. Plantaktuellt, nr. 1. Högskolan Dalarna.

*Littell, R., Stroup, W.C. & Freund, R.J. 2002.*

SAS for Linear Models, Fourth Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.

*Rosvall, Ola, 1998.*

Rotsystemets stabilitetsmekanik ställer krav på plantodlingsbehålleres utformning. Redogörelse nr. 7, 1998, Skogforsk, 32-36.

*Rosvall, Ola & Ericsson, Tore, 1998.*

Root components of containerized and free-growing seedlings of Scots pine and lodgepole pine. Redogörelse nr. 7, 1998, Skogforsk, 37-52.

*Rune, Göran, 2003.*

Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted Scots pine seedlings. *Silva Fennica*, 37(3): 33-342.

*Rune, Göran, 2002.*

Basal sweep and compression wood in young Scots pine trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 17: 529-537.

*Sundström, Erik & Keane, Michael, 1999.*

Root architecture, early development and basal sweep in containerized and bare-rooted Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Plant and Soil*, 217: 65-78.

*Warensjö, Mats, & Rune, G. 2004.*

Stem straightness and Compression Wood in a 22-Year-Old Stand of Container-Grown Scots Pine Trees. *Silva Fennica*, 38(2), 143-153.

## Arbejdsrapporter Skov & Landskab

- Nr. 1 · 2004 Etablering af løvtræ på marginale landbrugsjorder
- Nr. 2 · 2004 Sekventiel udbringning af gødning til nordmannsgran juletræer
- Nr. 3 · 2004 Metroens effekt på ansattes transportadfærd
- Nr. 4 · 2004 Æstetisk sansning og naturvidenskabelig naturforståelse
- Nr. 5 · 2004 Data om friluftsliv og turisme i regionplanlægningen og amternes forvaltning
- Nr. 6 · 2005 Status og anbefalinger for friluftsliv i forbindelse med Nationalpark Nord-sjælland
- Nr. 7 · 2005 Recirkulering af aske i skove
- Nr. 8 · 2005 Biomasse til energiformål
- Nr. 9 · 2005 Forsøg på bekæmpelse af Blåtop på Randbøl Hede
- Nr. 10 · 2005 Kommunale udbud af grønne driftsopgaver 1997-2003
- Nr. 11 · 2005 Genetablering af skov på stormfaldsarealer ved naturlig foryngelse
- Nr. 12 · 2005 Vorsø Skov VI
- Nr. 13 · 2005 Skærmstilling og underbeplantning af rødgran i Gludsted Plantage
- Nr. 14 · 2005 Værdisætning af de danske lyngheder
- Nr. 15 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg på hellearealer
- Nr. 16 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg med cykelstikanter
- Nr. 17 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg langs kantsten
- Nr. 18 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg i nødspor på den sønderjyske motorvej
- Nr. 19 · 2007 Brugerundersøgelse for Skov & Landskab 2007
- Nr. 20 · 2005 Landskabskaraktermetoden - et kompendium
- Nr. 21 · 2005 Kommuners og pendlerregioners sårbarhed over for outsourcing
- Nr. 22 · 2005 Endnu ikke udgivet
- Nr. 23 · 2005 ESPON og NERP i Danmark
- Nr. 24 · 2006 Vegetationsudvikling og nitratudvaskning ved ændret arealanvendelse .....
- Nr. 25 · 2006 Undersøgelse af forskellige dækrodsystemer for bøg og eg ved udplantning i skov
- Nr. 26 · 2006 Endnu ikke udgivet
- Nr. 27 · 2006 Evaluering af træplantningsmetoder i Københavns Kommune
- Nr. 28 · 2006 Værdisætning af syv mulige nationalparker i D
- Nr. 29 · 2006 Skovforædlingens sløgtsskabssystem - SFS Databasen
- Nr. 30 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2001
- Nr. 31 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2002
- Nr. 32 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2003
- Nr. 33 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2004
- Nr. 34 · 2006 Nye spilleregler i dansk naturpolitik?
- Nr. 35 · 2007 Endnu ikke udgivet
- Nr. 36 · 2007 Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen
- Nr. 37 · 2007 Dækrodsplantesystemets betydning for rodudvikling i eg og bøg - konsekvenser for træernes stabilitet